



**TUGAS AKHIR - TM091486**

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI  
DAN ENERGI BANGKITAN HYDRAULIC  
ELECTRO MECHANIC SHOCK ABSORBER  
DOUBLE PORT DENGAN RASIO DIAMETER  
SILINDER HIDROLIK 40MM : 40MM  
MENGUNAKAN BEBAN AKUMULATOR**

**RENDRA PRAMANA WAHYU PUTRANTO**  
NRP. 2111106013

Dosen Pembimbing  
Dr.Eng Harus Laksana Guntur ST, Meng

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM091486

**EXPERIMENTAL STUDY SUSPENSION AND  
RECOVERY ENERGY HYDRAULIC ELECTRO  
MECHANIC SHOCK ABSORBER DOUBLE PORT  
DIAMETER HYDRAULIC CYLINDER RATIO 40mm :  
40mm FOR AKUMULATOR LOAD**

RENDRA PRAMANA WAHYU PUTRANTO  
NRP. 2111106013

Academic Supervisor  
Dr.Eng Harus Laksana Guntur ST, Meng.

BACHELOR PROGRAM  
DYNAMICS SYSTEM AND VIBRATION LABORATORY  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014



**TUGAS AKHIR (*Desain*) - TM091486**

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK  
SUSPENSI DAN ENERGI BANGKITAN  
HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC SHOCK  
ABSORBER DOUBLE PORT DENGAN RASIO  
DIAMETER SILINDER HIDROLIK 40MM : 40MM  
MENGUNAKAN BEBAN AKUMULATOR**

**RENDRA PRAMANA WAHYU PUTRANTO  
NRP. 2111106013**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Eng Harus Laksana Guntur ST, Meng**

**PROGRAM SARJANA  
LABORATORIUM SISTEM DINAMIS DAN VIBRASI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI  
DAN ENERGI BANGKITAN PADA HEMSA  
(HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC SHOCK  
ABSORBER) DOUBLE PORT RASIO SILINDER 1:1  
DENGAN PEMBEBANAN AKUMULATOR**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Desain  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh**

**RENDRA PRAMANA W.P.**

**NRP. 2111 106 013**

**Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :**

**1. Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng  
NIP. 197505111999031001**

.....  
(Pembimbing I)

**2. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.  
NIP. 197004121997032003**

.....  
(Penguji I)

**3. Dr.Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc  
NIP. 197805102001121001**

.....  
(Penguji II)

**4. Yohanes, S.T., M.Sc  
NIP. 198006272012121003**

.....  
(Penguji III)

**SURABAYA,  
JULI 2014**

# **Studi Eksperimen Karakteristik Suspensi dan Energi Bangkitan Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber Double Port Dengan Rasio Diameter Silinder Hidrolik 40mm : 40mm Menggunakan Beban Akumulator**

Nama Mahasiswa : Rendra Pramana Wahyu Putranto  
NRP : 2111106013  
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS  
Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Harus L.G, ST., M. Eng.

## **ABSTRAK**

Perkembangan industri otomotif di Indonesia saat ini meningkat dengan pesat. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil, dimana jumlah kendaraan bermotor semakin banyak sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun. Menurut penelitian *Center for Energy, Transportation, and the Environment (CETE)*, kendaraan bermotor hanya menyalurkan 16% dari tenaga bahan bakar yang digunakan. Sisanya sebesar 62% menjadi engine losses sebagai panas dan getaran. Salah satu cara meningkatkan efisiensi adalah dengan memanfaatkan energi yang terbuang, salah satunya adalah dengan memanfaatkan energi yang terdisipasi pada suspensi melalui konsep *Regenerative Shock Absorber (RSA)*.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian nilai konstanta pegas (  $k$  ), pengujian nilai koefisien redaman (  $c$  ) secara statis untuk viscous, viscous mekanik dan total baik dengan akumulator maupun tidak. Dilakukan juga pengujian dinamis secara periodic dan impuls pada kondisi menggunakan akumulator 100 % terisi, 55 % terisi dan 0 %. Dan yang terakhir dilakukan pengujian energy bangkitan dengan eksitasi periodic. Pengujian dilakukan dengan menggunakan massa kuartir car ( 250 kg )

Dari penelitian ini didapatkan nilai konstanta pegas (  $k$  ),

nilai koefisien redaman statis (  $C$  ) untuk viscous, viscous mekanik dan total. Nilai koefisien redaman (  $C$  ) pada saat menggunakan akumulator 100 % terisi, 55 % terisi dan kosong. Didapatkan grafik percepatan fungsi waktu dengan eksitasi impuls dan periodic pada saat menggunakan akumulator 100 % terisi, 55 % terisi dan kosong. Didapatkan grafik energy bangkitan dari HEMSA dengan eksitasi periodic. Dan yang terakhir didapatkan grafik nilai kenyamanan pada standar ISO 2631 pada saat menggunakan akumulator 100 % terisi, 55 % terisi dan 0 %.

Kata kunci: *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber, getaran, energy recovery.*



**Ekperimenttal Study Suspension and Recovery Energy  
Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber Double Port  
Diameter Hydrolic Cylinder Ratio 40mm : 40mm for  
Akumulator Load.**

**Name : Rendra Pramana Wahyu Putranto**  
**NRP : 2111106013**  
**Department : Mechanical Engineering**  
**Lecture : Dr.Eng Harus Laksana Guntur St, Meng**

**ABSTRAC**

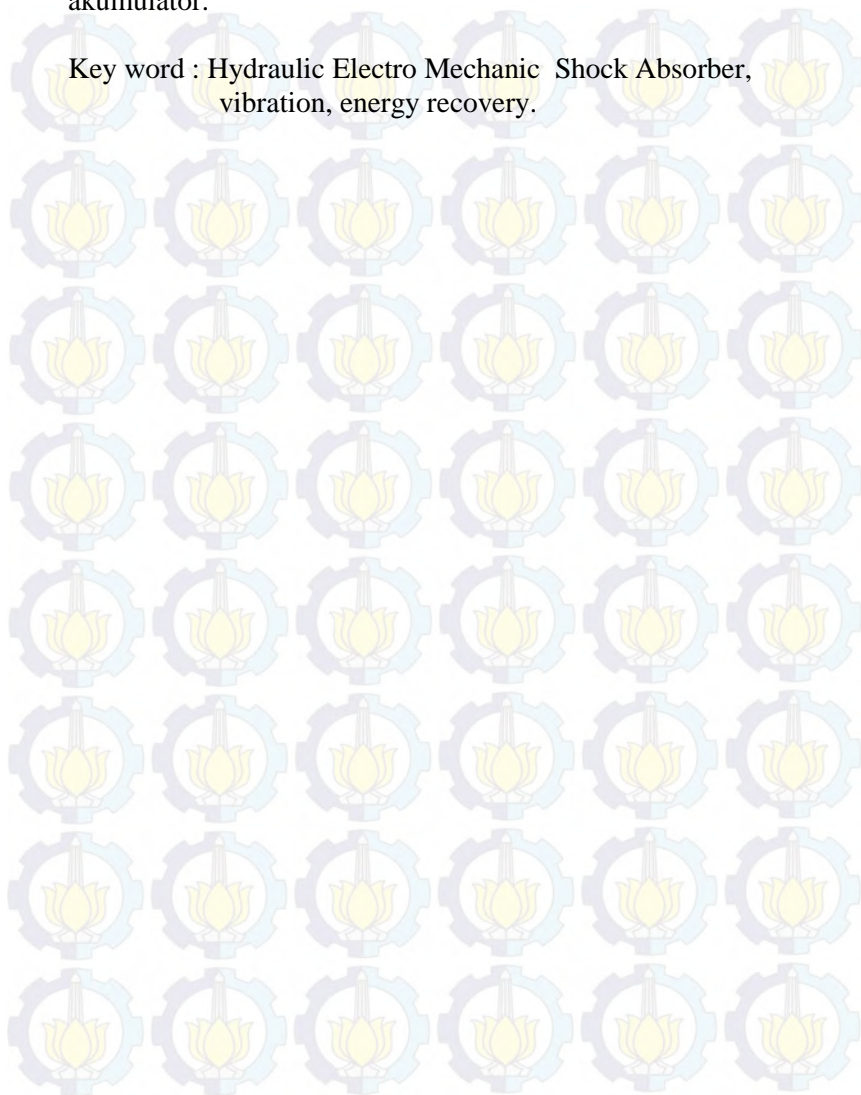
Development for otomotif industry in Indonesia increase in out number. Vehicle grow rate does not equal than gasoline capacity which vehicle capacity increase out of number in year but gasoline capacity was very slowly. From *Center for Energy Transportation and Environment ( CETE )*, only 16% effectiveness from gasoline convert into power in every single engine. 62% loss to be heat and vibration. One of method that use to increase efficiency is using it is own losses and one of that losses is suspension vibration using Regenerative Shock Absorber ( RSA ).

In this Final Project held spring constanta (  $k$  ) and damping coefficient (  $c$  ) test for static. held dynamic test, impuls and periodic for akumulator load and unload. Akumulator capacity devide in three condition, 100 % charged, 55 % charged and 0 % charged. And last test was for recovery energy, used dynamic test with akumulator load. This test used 1/4 quarter car mass ( 250 kg )

From test that have been held, result have been received is spring constanta (  $k$  ), damping coefficient (  $c$  ) in static condition for viscous damping, viscous + mechanic damping and total damping. Damping coefficient (  $c$  ) used akumulator 100 % charged, 55 % charged and 0 % charged. Received graph acceleration vs time for dynamic test with three condition akumulator. Receive graph for recovery energy. Receive

comfortable graph plot in ISO 2631 in three condition  
akumulator.

Key word : Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber,  
vibration, energy recovery.





## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat, hidayah, karunia, ilmu-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen Karakteristik Suspensi dan Energi Bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dengan menggunakan akumulator” ini dengan sebaik-baiknya dan sesuai dengan jadwal yang diharapkan. Keberhasilan dalam penyelesaian laporan penelitian tugas akhir ini, tidak lepas berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr.Eng Harus Laksana Guntur ST., M.Eng dan Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati ST., MT selaku dosen pembimbing dan dosen penguji yang dengan sabar dan tidak henti-hentinya memberikan bimbingan, motivasi, dan dukungan, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc dan Bapak Yohanes, ST., M.Sc.selaku dosen penguji.
3. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Seluruh karyawan jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah turut membantu demi kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Kedua orang tua penulis, kakak-kakak penulis, dan adik penulis yang telah memberikan doa dan dukungan moral maupun materi kepada penulis.
6. Rekan-rekan Tugas Akhir di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi (Alfin, Taufik, Andini, Tyas, Yuly, Wegig, Fauzi, Burhan, Wisnu, mas Kaspul, mas Koifin, Nanang, Hendra, dkk.) pada umumnya, serta rekan-rekan satu kelompok

HEMSA (Ilham, Amel, Rendra, Totong, Dito) pada khususnya.

7. Rekan-rekan Lintas Jalur, khususnya semester genap angkatan 2011 (Teguh, Boris, Yolas, Dimas, Bambang, dkk.) yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, baik itu berupa saran, doa, dan dukungan, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
8. Devi Ratna Sari selaku teman yang selalu mendukung dan membantu setiap saat dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini .

Akhirnya penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari segenap pembaca demi kebaikan dan kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, April 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1       Latar Belakang .....	1
1.2       Perumusan Masalah .....	2
1.3       Tujuan Penelitian .....	3
1.4       Batasan Masalah .....	3
1.5       Manfaat Penelitian .....	4
1.6       Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II.....</b>	<b>7</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1       Tinjauan terdahulu .....	7
2.1.1.   Regenerative Shock Absorber Massachusets Insititute of Technology.....	7
2.1.2.   Regenerative Shock Absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk .....	8
2.1.3.   Pengembangan <i>Hydraulic Regenerative Shock                   Absorber</i> oleh Muchamad Eko Jayadilaga dan Harus Laksana Guntur .....	11



2.1.4.	Hidraulic Hydraulic Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber oleh Zhitang Fang dkk .....	12
2.1.5.	Perkembangan Regenerative Shock Absorber Oleh Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember ( ITS ) .....	13
2.2	Mekanika Getaran.....	15
2.2.1	Pengertian Getaran.....	15
2.2.2	Getaran Bebas .....	15
2.2.3	Getaran Paksa .....	15
2.2.4	Getaran Harmonik.....	16
2.2.6	Konstanta Redaman .....	20
2.3	Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Manusia	21
2.4	Alternator sebagai generator .....	22
2.5	Sistem Hidrolik .....	24
2.6	Komponen – komponen Drive Section.....	25
2.1	Silinder Hidraulic.....	25
2.7	Hukum Kontinuitas .....	26
2.8	Hukum Bernouli .....	28
2.9	Hukum Pascal.....	29
<b>BAB III.....</b>		<b>31</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>31</b>
3.1.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir .....	31
3.1.2	Studi Literatur dan survei alat uji.....	33
3.1.3	Persiapan Pengujian.....	33

3.1.4	Penentuan gaya redaman <i>Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber</i> .....	33
3.1.5	Pengujian koefisien spring(pegas) .....	42
3.1.6	Persiapan Pengujian Mekanisme HEMSA dengan Menggunakan Suspension Test Rig. ....	44
3.1.7	Pengujian Respon Massa dan Energi bangkitan HEMSA akibat eksitasi Impulsif. ....	44
3.1.8	Pengujian Respon Massa dan Energi Bangkitan HEMSA akibat eksitasi Periodik. ....	47
3.2	Peralatan yang Digunakan .....	50
3.2.1	<i>Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber</i> (HEMSA).....	50
3.2.2	Suspension test rig .....	51
3.2.3	Oscilloscope.....	52
3.2.4	Akumulator .....	53
3.2.5	Jangka Sorong.....	54
3.2.6	Stopwatch .....	55
3.2.7	Akselerometer.....	55
3.2.8	Multimeter .....	56
3.3	Pengolahan Data Hasil Pengujian.....	57
<b>BAB IV .....</b>		<b>59</b>
<b>PEMBAHASAN DAN ANALISA DATA .....</b>		<b>59</b>
4.1.	Penentuan Konstanta Pegas .....	59
4.1.1	. Prinsip Kerja .....	59
4.1.2	. Hasil Pengujian Nilai Konstanta Pegas ( $k$ ).....	60
4.2.	Perhitungan Nilai Redaman .....	62



4.2.1	. Pengujian Nilai Redaman HEMSA Tanpa Menggunakan Beban. ....	63
4.2.2	. Pengujian Nilai Redaman HEMSA dengan Akumulator. ....	71
4.2.2.1	. Pengujian Nilai Redaman pada saat Akumulator Terisi 100 % . ....	72
4.2.2.2	. Pengujian Nilai Redaman pada saat Akumulator Terisi 55 % . ....	74
4.2.2.3	Pengujian Nilai Redaman pada saat Akumulator kosong ( 0 % charged ).....	76
4.2.2.4	Distribusi Nilai Redaman dengan Menggunakan Akumulator. ....	79
4.3.	Pengujian Mekanisme HEMSA.....	81
4.3.1.	Pengujian Respon Massa pada HEMSA dengan Eksitasi Impuls dan Periodik Menggunakan Akumulator. ....	83
4.3.2.	Pengujian Energi Bangkitan pada HEMSA dengan Eksitasi Impuls dan Periodik.....	91
4.3.3.	Performa Hidraulic Electro Mechanic Shock Absorber .....	92
<b>BAB V</b>	.....	<b>103</b>
<b>KESIMPULAN</b>	.....	<b>103</b>
5.1.	Kesimpulan.....	103
5.2.	Saran .....	104
<b>Daftar Pustaka</b>	.....	<b>107</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Regenerative shock absorber Hydraulic oleh Massachutes Institute of Technology <sup>[9]</sup> .....	8
Gambar 2. 2 linier elektromagnetik absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk <sup>[9]</sup> .....	8
Gambar 2. 3 Rotational absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk <sup>[9]</sup> .....	9
Gambar 2. 4 Desain hydraulic regenerative shock absorber.....	10
Gambar 2.3 <i>Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber</i> oleh Zhigang Fang dkk <sup>[11]</sup> .....	12
Gambar 2. 7 VERS VI dengan pegas <sup>[7]</sup> .....	13
Gambar 2. 8 Eksitasi pada landasan <sup>[7]</sup> .....	15
Gambar 2. 9 Free Body Diagram eksitasi pada base <sup>[7]</sup> .....	15
Gambar 2. 10 Displacement transmissibility vs frequency ratio <sup>[7]</sup>	17
Gambar 2. 11 Sistem 1 DOF pada shock absorber sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya <sup>[7]</sup> .....	18
Gambar 2. 12 a Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan b. Grafik pengaruh gaya redaman terhadap kecepatan <sup>[7]</sup> .....	20
Gambar 2. 13 Standar ISO kenyamanan penumpang <sup>[6]</sup> .....	21
Gambar 2. 14 Alternator AC sepeda motor .....	22
Gambar 2. 15 Skema Sistem Hidrolik .....	23
Gambar 2. 16 Silinder Single Acting .....	24
Gambar 2. 17 Silinder Doubler Acting .....	25
Gambar 2. 18 Aliran dalam bejana <sup>[2]</sup> .....	25
Gambar 2. 19 Penerapan gambar hukum bernouli pada penampang .....	28
Gambar 2. 20 Prinsip Hukum Pascal .....	29
 Gambar 3. 2 Flowchart Diagram Penelitian.....	31
Gambar 3. 3 skema pengujian nilai redaman viscous.....	33
Gambar 3. 4 Flowchart penentuan nilai redaman viscouse damping .....	34

Gambar 3. 5 skema pengujian nilai redaman viscouos dan mechanical. ....	35
Gambar 3. 6 Flowchartpenentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping .....	36
Gambar 3. 7 skema pengujian nilai redaman total tanpa pembebanan akumulator .....	37
Gambar 3. 8 Flowchart penentuan niai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping tanpa beban	38
Gambar 3. 9 skema pengujian nilai redaman total dengan pembebanan akumulator. ....	39
Gambar 3. 10 Flowchart penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban.....	40
Gambar 3. 11 Pengujian kekakuan Pegas ( k ) .....	41
Gambar 3. 12 Flowchart pengujian kekakuan pegas .....	42
Gambar 3. 13 Skema pengujian respon massa secara impulsif ..	44
Gambar 3. 14 Flowchart pengujian respon massa dan energi bangkitan pada HEMSA dengan pembebanan akumulator .....	45
Gambar 3. 15 Gambar skema penggujian respon massa dan energy bangkitan HEMSA dengan pembebanan akumulator .....	47
Gambar 3. 16 Flowchart pengujian respon massa dan energy bangkitan HEMSA akibat eksitasi periodic dengan pembebanan akumulator. ....	48
Gambar 3. 17 Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA).....	50
Gambar 3. 18 Suspension test rig .....	51
Gambar 3. 19 Oscilloscope .....	52
Gambar 3. 20 Akumulator dan bagian – bagiannya.....	53
Gambar 3. 21 Jangka Sorong .....	53
Gambar 3. 22 Stopwatch.....	54
Gambar 3. 23 Akselerometer. ....	55
Gambar 3. 24 Multimeter.....	55
Gambar 4. 1. Gambar pengujian konstanta pegas ( k ) .....	57
Gambar 4. 2 Grafik konstanta pegas.....	60



Gambar 4. 3 Mekanisme pengujian nilai redaman kompresi dan rebound pada suspension test rig. ....	61
Gambar 4. 4 Grafik nilai redaman viscous .....	63
Gambar 4. 5 Gambar grafik nilai redaman viscous + mekanik...	65
Gambar 4. 6 Grafik nilai redaman total tanpa akumulator.....	67
Gambar 4. 7. Distribusi nilai redaman komponen HEMSA tanpa akumulator .....	69
Gambar 4. 8. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 100 %.....	72
Gambar 4. 9. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 55 %.....	74
Gambar 4. 10. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 0 %.....	76
Gambar 4. 11 Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 0 %.....	78
Gambar 4. 12. Mekanisme pengujian HEMSA pada suspension test rig. ....	80
Gambar 4. 13. Grafik hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator. ....	82
Gambar 4. 14. Hasil pengujian eksitasi impuls pada HEMSA dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator.....	82
Gambar 4. 15. Grafik hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator. ....	83
Gambar 4. 16. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator .....	84
Gambar 4. 17. Grafik hasil eksitasi input base frekuensi 1,7 Hz dengan akumulator.....	85
Gambar 4. 18. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 1,7 Hz dengan akumulator .....	86
Gambar 4. 19. Grafik hasil eksitasi input base frekuensi 2 Hz dengan akumulator.....	87
Gambar 4. 20. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 2 Hz dengan akumulator .....	88
Gambar 4. 21. Diagram batang energi bangkitan eksitasi periodik 1.4Hz, 1.7Hz, 2Hz pada saat akumulator terisi 100 %. 90	

Gambar 4. 22 Grafik efisiensi performa HEMSA pembebanan akumulator .....	93
Gambar 4. 23. Grafik force transmissibility ( $X/Y$ ) versus frequency ratio ( $r$ ).....	95
Gambar 4. 24. Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged...	97
Gambar 4. 25 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged...	98
Gambar 4. 26 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged .....	99

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Regenerative shock absorber Hydraulic oleh Massachusetts Institute of Technology <sup>[9]</sup> . ....	8
Gambar 2. 2 linier elektromagnetik absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk <sup>[9]</sup> .....	8
Gambar 2. 3 Rotational absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk <sup>[9]</sup> .....	9
Gambar 2. 4 Desain hydraulic regenerative shock absorber.....	10
Gambar 2.3 <i>Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber</i> oleh Zhigang Fang dkk <sup>[11]</sup> .....	12
Gambar 2. 7 VERS VI dengan pegas <sup>[7]</sup> .....	13
Gambar 2. 8 Eksitasi pada landasan <sup>[7]</sup> .....	15
Gambar 2. 9 Free Body Diagram eksitasi pada base <sup>[7]</sup> .....	15
Gambar 2. 10 Displacement transmissibility vs frequency ratio <sup>[7]</sup> 17	
Gambar 2. 11 Sistem 1 DOF pada shock absorber sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya <sup>[7]</sup> .....	18
Gambar 2. 12 a Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan b. Grafik pengaruh gaya redaman terhadap kecepatan <sup>[7]</sup> .....	20
Gambar 2. 13 Standar ISO kenyamanan penumpang <sup>[6]</sup> .....	21
Gambar 2. 14 Alternator AC sepeda motor .....	22



Gambar 2. 15 Skema Sistem Hidrolik .....	23
Gambar 2. 16 Silinder Single Acting .....	24
Gambar 2. 17 Silinder Doubler Acting .....	25
Gambar 2. 18 Aliran dalam bejana <sup>[2]</sup> .....	25
Gambar 2. 19 Penerapan gambar hukum bernouli pada penampang .....	28
Gambar 2. 20 Prinsip Hukum Pascal .....	29
 Gambar 3. 2 Flowchart Diagram Penelitian.....	31
Gambar 3. 3 skema pengujian nilai redaman viscous .....	33
Gambar 3. 4 Flowchart penentuan nilai redaman viscouse damping .....	34
Gambar 3. 5 skema pengujian nilai redaman visocuos dan mechanical. ....	35
Gambar 3. 6 Flowchartpenentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping .....	36
Gambar 3. 7 skema pengujian nilai redaman total tanpa pembebanan akumulator .....	37
Gambar 3. 8 Flowchart penentuan niai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping tanpa beban	38
Gambar 3. 9 skema pengujian nilai redaman total dengan pembebanan akumulator. ....	39
Gambar 3. 10 Flowchart penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban.....	40
Gambar 3. 11 Pengujian kekakuan Pegas ( k ) .....	41
Gambar 3. 12 Flowchart pengujian kekakuan pegas .....	42
Gambar 3. 13 Skema pengujian respon massa secara impulsif ..	44
Gambar 3. 14 Flowchart pengujian respon massa dan energi bangkitan pada HEMSA dengan pembebanan akumulator .....	45
Gambar 3. 15 Gambar skema penggujian respon massa dan energy bangkitan HEMSA dengan pembebanan akumulator .....	47
Gambar 3. 16 Flowchart pengujian respon massa dan energy bangkitan HEMSA akibat eksitasi periodic dengan pembebanan akumulator. ....	48

Gambar 3. 17 Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA).....	50
Gambar 3. 18 Suspension test rig .....	51
Gambar 3. 19 Oscilloscope .....	52
Gambar 3. 20 Akumulator dan bagian – bagiannya.....	53
Gambar 3. 21 Jangka Sorong.....	53
Gambar 3. 22 Stopwatch.....	54
Gambar 3. 23 Akselerometer. ....	55
Gambar 3. 24 Multimeter.....	55
Gambar 4. 1. Gambar pengujian konstanta pegas ( $k$ ).....	57
Gambar 4. 2 Grafik konstanta pegas.....	60
Gambar 4. 3 Mekanisme pengujian nilai redaman kompresi dan rebound pada suspension test rig. ....	61
Gambar 4. 4 Grafik nilai redaman viscous .....	63
Gambar 4. 5 Gambar grafik nilai redaman viscous + mekanik.....	65
Gambar 4. 6 Grafik nilai redaman total tanpa akumulator.....	67
Gambar 4. 7. Distribusi nilai redaman komponen HEMSA tanpa akumulator .....	69
Gambar 4. 8. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 100 %.....	72
Gambar 4. 9. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 55 %.....	74
Gambar 4. 10. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 0 %.....	76
Gambar 4. 11 Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 0 %.....	78
Gambar 4. 12. Mekanisme pengujian HEMSA pada suspension test rig. ....	80
Gambar 4. 13. Grafik hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator. ....	82
Gambar 4. 14. Hasil pengujian eksitasi impuls pada HEMSA dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator.....	82
Gambar 4. 15. Grafik hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator. ....	83

Gambar 4. 16. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator .....	84
Gambar 4. 17. Grafik hasil eksitasi input base frekuensi 1,7 Hz dengan akumulator.....	85
Gambar 4. 18. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 1,7 Hz dengan akumulator .....	86
Gambar 4. 19. Grafik hasil eksitasi input base frekuensi 2 Hz dengan akumulator.....	87
Gambar 4. 20. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 2 Hz dengan akumulator .....	88
Gambar 4. 21. Diagram batang energi bangkitan ekstitasi periodik 1.4Hz, 1.7Hz, 2Hz pada saat akumulator terisi 100 %.	90
Gambar 4. 22 Grafik efisiensi perfoma HEMSA pembebanan akumulator .....	93
Gambar 4. 23. Grafik force transimibility ( X/Y ) versus frequency ratio ( r ).....	95
Gambar 4. 24. Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged...	97
Gambar 4. 25 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged...	98
Gambar 4. 26 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged .....	99



## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel pengujian nilai konstanta pegas .....	58
Tabel 4. 2 tabel pengujian nilai redaman kompresi viscous tanpa akumulator. ....	62
Tabel 4. 3 tabel pengujian nilai redaman rebound viscous tanpa akumulator .....	62
Tabel 4. 4 tabel pengujian nilai redaman kompresi viscous + mekanik tanpa akumulator .....	64
Tabel 4. 5 tabel pengujian nilai redaman rebound viscous + mekanik tanpa akumulator .....	64
Tabel 4. 6 Tabel pengujian nilai redaman total tanpa beban saat kompresi.....	66
Tabel 4. 7 Tabel pengujian nilai redaman total tanpa beban saat rebound .....	67
Tabel 4. 8 tabel pengujian nilai redaman total kompresi pada saat akumulator terisi 100 % .....	70
Tabel 4. 9 tabel pengujian nilai redaman total rebound pada saat akumulator terisi 100 % .....	71
Tabel 4. 10 Tabel pengujian nilai redaman total kompresi pada saat akumulator terisi 55 % .....	73
Tabel 4. 11 Tabel pengujian nilai redaman total rebound pada saat akumulator terisi 55%.....	73
Tabel 4. 12 Tabel pengujian nilai redaman total kompresi pada saat akumulator terisi 0%.....	75
Tabel 4. 13 Tabel pengujian nilai redaman total rebound pada saat akumulator terisi 0%.....	75
Tabel 4. 14 Tabel nilai redaman HEMSA dengan menggunakan akumulator terisi 0 % .....	77
Tabel 4. 15 Tabel nilai redaman HEMSA dengan menggunakan akumulator terisi 55 % .....	77
Tabel 4. 16 Tabel nilai redaman HEMSA dengan menggunakan akumulator terisi 100 % .....	78

Tabel 4. 17 tabel energy bangkitan pada saat akumulator terisi 100 % eksitasi periodic .....	89
Tabel 4. 18 Effisiensi HEMSA pada saat askumulator terisi 0 %	91
Tabel 4. 19 Effisiensi HEMSA pada saat askumulator terisi 0 %	92
Tabel 4. 20 Effisiensi HEMSA pada saat askumulator terisi 0 %	92
Tabel 4. 21 tabel frekuensi rasio teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 0 % .....	94
Tabel 4. 22 tabel frekuensi rasio teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 55 % .....	94
Tabel 4. 23 tabel frekuensi rasio teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 100 %.....	95



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri otomotif di Indonesia saat ini meningkat dengan pesat. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil, dimana jumlah kendaraan bermotor semakin banyak sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun. Menurut *Center for Energy, Transportation and the Environment (CETE)*, yaitu sebuah program penelitian yang diterapkan oleh *University of Tennessee Chattanooga*, untuk mengembangkan dan menyebarkan teknologi maju yang memanfaatkan sumber yang bersih dan aman energi, menyatakan bahwa kendaraan bermotor hanya efektif menggunakan 16% tenaga bahan bakar dari hasil pembakaran yang digunakan. Sisanya sebesar 62% menjadi *engine losses* sebagai panas dan getaran, 11% *engine idling*, 6% *transmission losses*, serta 2% dari penambahan aksesoris seperti *Air Conditioner (AC)*, wiper, dll<sup>[1]</sup>. Sehingga, tuntutan untuk membuat kendaraan bermotor yang hemat energi dan ramah lingkungan merupakan tantangan dan kewajiban. Salah satu solusi untuk memenuhi tuntutan tersebut ialah dengan mencari, membuat, dan mengembangkan sumber energi alternatif.

Salah satu sumber energi alternatif yang dikembangkan dalam kendaraan adalah VEH (*Vibration Energy Harvesting*) yaitu alat pemanen energi yang memanfaatkan getaran kendaraan pada sistem suspensi. Salah satu alat yang dibuat yaitu *Regenerative Shock Absorber (RSA)*, yang memanfaatkan gerak relatif antara sistem suspensi dengan bodi kendaraan untuk menghasilkan energi listrik. Telah banyak dikembangkan penelitian RSA, baik oleh ilmuwan maupun instansi pendidikan. Berdasarkan penelitian terdahulu, di ITS telah dikembangkan

VEH (*Vibration Energy Harvesting*). Pada penelitian ini, alat ini memanfaatkan gerak translasi pada sistem suspensi berupa *cylinder hydraulic*, yang akan mendistribusikan aliran fluida ke *cylinder hydraulic* lainnya sebagai aktuator. Gerak translasi aktuator akan dikonversi menjadi gerak rotasi dengan menggunakan mekanisme *rack and pinion gear*, kemudian gerak rotasi diteruskan oleh *gearbox* yang di dalamnya terdapat *bevel gear* dan menggunakan *one-way bearing* untuk membuat putaran yang searah, kemudian dihubungkan ke generator melalui induksi elektromagnetik sehingga menghasilkan energi listrik berupa tegangan.

Dari uraian di atas, maka penelitian ini tertuju pada studi eksperimen karakteristik hasil pengembangan mekanisme dan desain *Regenerative Shock Absorber*. Dalam penelitian ini dianalisa karakteristik redaman *Regenerative Shock Absorber* dan besar energi yang dibangkitkan *Regenerative Shock Absorber* dengan pengujian eksitasi impulsif dan eksitasi periodik. Harapan dari penelitian ini adalah membuat sumber energi listrik di masa mendatang pada kendaraan bermotor dan mampu sebagai *Shock Absorber*. *Regenerative Shock Absorber* ini dinamakan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA).

## 1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dibahas beberapa pokok permasalahan, antara lain:

1. Bagaimana karakteristik suspensi dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) double port dengan menggunakan akumulator.
2. Bagaimana karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) double port dengan menggunakan akumulator.

3. Bagaimana analisa karakteristik suspensi dan energi bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) double dengan menggunakan akumulator.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik suspensi pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) double port dengan menggunakan akumulator.
2. Mengetahui karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) double port dengan menggunakan akumulator.
3. Mampu menganalisa karakteristik suspensi dan energi bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) double dengan menggunakan akumulator.

### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk mempermudah pengerjaan dalam penelitian ini, maka penulis memerlukan batasan-batasan masalah yang akan dibahas, antara lain:

1. Model pengujian yang digunakan hanya  $\frac{1}{4}$  dari kendaraan.
2. Eksitasi yang digunakan adalah alat uji suspensi, yaitu *suspension test rig*.
3. Generator yang digunakan adalah alternator sepeda motor Yamaha Jupiter MX.
4. Pengujian ini hanya menggunakan 1 derajat kebebasan (DOF).
5. Disturbance dan noise yang terjadi pada pengukuran diabaikan.
6. Pressure drop dan gesekan pada bantalan luncur diabaikan.
7. Akumulator yang digunakan yaitu: 12V, 5Ah.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini antara lain:



1. Mampu menghasilkan energi alternatif.
2. Mampu memahami dan mengetahui tentang konsep perancangan dan pengembangan produk.
3. Hasil tugas akhir ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan pengembangan *regenerative shock absorber* berikutnya.
4. Memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi konsep kendaraan masa depan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

### **1. Bab I Pendahuluan**

Bab ini berisi tentang latar belakang dari tugas akhir ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan tugas akhir.

### **2. Bab II Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi tentang pengenalan tentang *shock absorber*, pengembangan dalam merancang *shock absorber* untuk menghasilkan energi dan rumusan mekanika getaran yang akan dipakai dalam melakukan pengujian.

### **3. Bab III Metodologi**

Bab ini berisi tentang cara-cara pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian diantaranya, penentuan nilai konstanta redaman pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA), pengujian konstanta pegas, dan pengujian mekanisme alat dengan eksitasi impuls dan periodik dengan menggunakan *suspension test rig*.

### **4. Bab IV Analisa dan Pembahasan**

Berisi tentang data-data pengujian dari alat yang digunakan, perhitungan-perhitungan gaya redaman fungsi kecepatan, energi bangkitan, grafik respon massa, pengaruh

kenyamanan penumpang, dan performa dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA).

### **5. Bab V Penutup**

Berisi tentang kesimpulan dari tugas akhir yang didapatkan dari hasil pengujian dan penelitian yang dilakukan pada peralatan yang direncanakan.





## BAB II

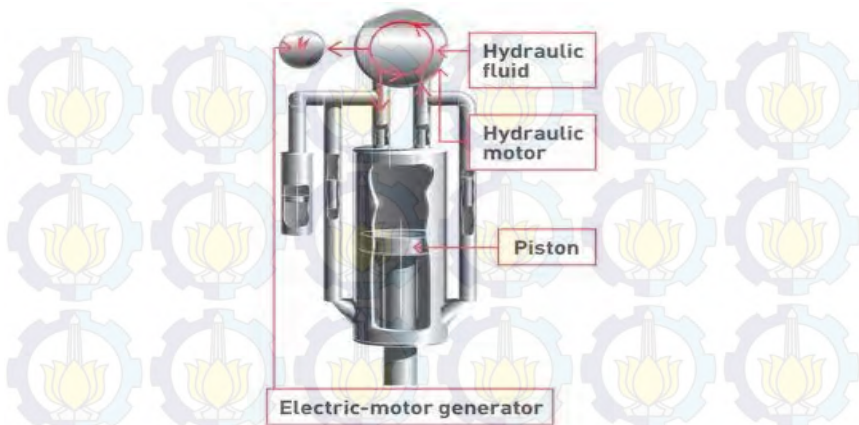
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan terdahulu

##### 2.1.1. Regenerative Shock Absorber Massachusetts Institute of Technology

*Massachusetts Institute of Technology* telah menciptakan shock absorber yang mampu menghasilkan energi listrik dengan menggunakan prinsip kerja hidrolik. Prinsip kerja sistem hidrolik ini adalah ketika terjadi gerakan translasi naik turun akibat dari jalan yang bergelombang, maka akan mengakibatkan *rod* terdorong dan akan mendorong piston yang bekerja memaksa fluida untuk memutar sudu turbin. Putaran dari sudu turbin ini akan dihubungkan ke generator yang akan menghasilkan listrik. Sistem pada *shock absorber* ini diklaim lebih nyaman untuk pengendara jika dibandingkan dengan sistem *shock absorber* konvensional karena pada sistem *shock absorber* ini dikontrol oleh sebuah rangkaian elektronik aktif yang berfungsi untuk mengoptimalkan redaman. Berdasarkan hasil dari pengujian *regenerative shock absorber* ini mampu menghasilkan daya sebesar 200 watt.

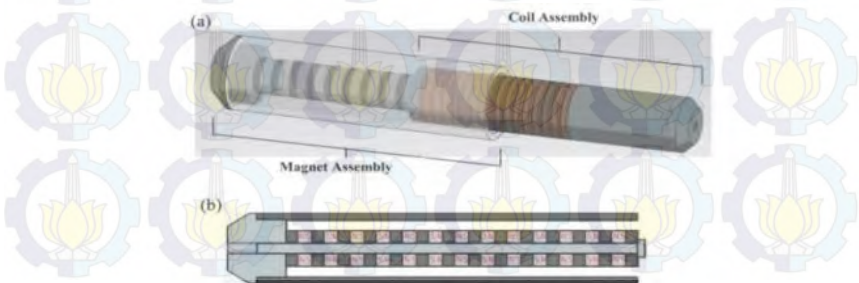
Kelebihan dari sistem ini adalah menggunakan *incompressible flow* dimana dengan menggunakan cairan pada sistem hidrolik akan menghasilkan tekanan yang besar untuk memutar sudu turbin sehingga energi yang dihasilkan juga besar.



Gambar 2. 1 Regenerative shock absorber Hydraulic oleh Massachutes Institute of Technology<sup>[9]</sup>.

### 2.1.2. Regenerative Shock Absorber oleh Prof. Lei Zuo dkk

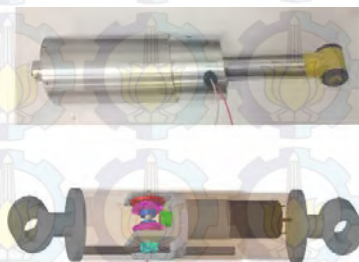
Pada tahun 2010, tim yang berasal dari Stony Brook University terdiri atas Prof Lei Zuo dan Pei Sheng-Zang telah mendesain sekaligus menguji temuan mereka tentang permanen energy dari suspensi pada kendaraan. Mereka memanfaatkan getaran yang terjadi pada suspensi untuk menghasilkan listrik. Pada pertama kali terdapat dua metode yang dapat digunakan, yaitu *linierelectromagnetic absorber* dan *rotational absorber*.



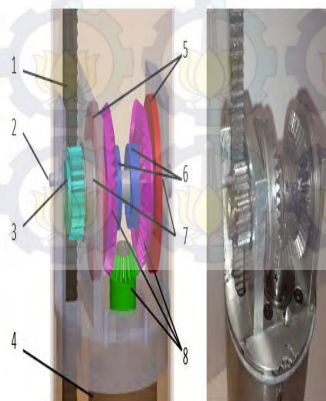
Gambar 2. 2 linier elektromagnetik absorber oleh Prof. Lei Zuo dkk<sup>[9]</sup>

Pada *Linier electromagnetic absorber* prinsip kerjanya dengan menggunakan 2 tipe magnet yang berbeda yaitu *axial* dan *radial*. Magnet akan bergerak translasi mengikuti gerakan pada suspensi, kemudian dari sisi lain terdapat kumparan. Seperti halnya prinsip elektromagnetik, bila kumparan berputar kemudian disisinya diberikan magnet, maka akan menimbulkan GGL (gaya gerak listrik) yang nantinya akan menghasilkan listrik. *Linier elektromagnetic absorber* ini didesain untuk kendaraan berat yang mempunyai vibrasi yang besar seperti, truk, bus, dan lain sebagainya.

Kelebihan dari sistem Linier linier elektromagnetik absorber ini adalah desainnya yang ramping, tidak memakan banyak tempat.



- |                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| 1 rack            | 2 roller                    |
| 3 pinion          | 4 planetary gears and motor |
| 5 thrust bearings | 6 roller clutches           |
| 7 ball bearings   | 8 bevel gears               |







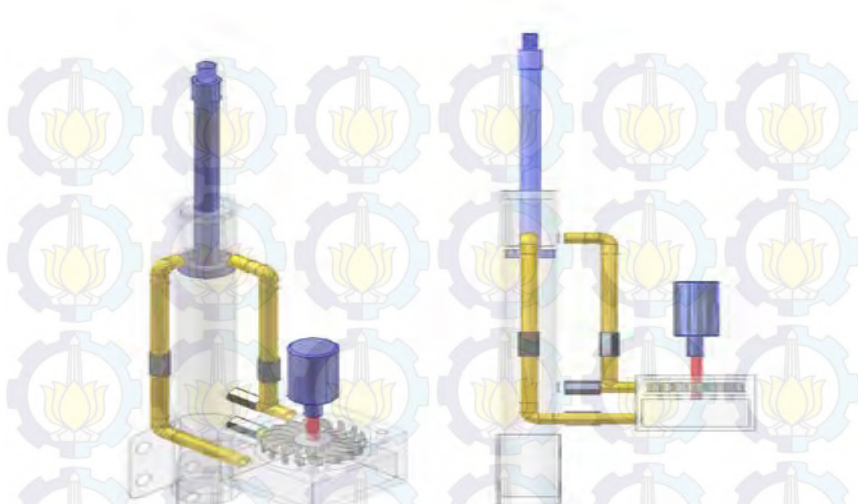
Gambar 2. 3 Rotational absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk<sup>[9]</sup>

Selanjutnya pada *Rotational Absorber*, prinsip kerjanya adalah memanfaatkan roda gigi pada sistem suspensi, sehingga menghasilkan listrik, yaitu dengan mengubah pergerakan translasi menjadi pergerakan rotasi. Pada gerakan translasi roda gigi *rack* dihubungkan dengan *spur gear*, kemudian *spur gear* dihubungkan dengan *bevel gear* yang mengubah gerakan translasi menjadi rotasi. selanjutnya gerakan rotasi tersebut akan berputar menggerakkan generator.

Pada penelitian ini, Prof.Lei Zuo dkk mengklaim dapat menghasilkan 100W-400W untuk mobil, 200W-2kW untuk bus, 1kw-10kW untuk truk, 800W-10kW untuk kendaraan tempur, dan 5kW-6kW untuk kereta api. Dan peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar dapat mencapai sebesar 2-10%. Sehingga dari penelitian tersebut dapat memanfaatkan potensi energi yang hilang di dalam mengembangkan alat pemanen energi(*energy harvesting*).

### **2.1.3. Pengembangan *Hydraulic Regenerative Shock Absorber* oleh Muchamad Eko Jayadilaga dan Harus Laksana Guntur**

VERS adalah suatu peralatan yang digunakan sebagai pemanen energi yang membuang dari gerak translasi shockabsorber kendaraan roda empat. Pada tahun 2014 Muchamad Eko Jayadilaga dan Harus Laksana Guntur melakukan pengembangan *Hydraulic Regenerative Shock Absorber*. Prinsip kerjanya adalah dengan menggunakan hidrolik sebagai *viscouse damping*, suspensi akan bergerak naik turun yang akan mengakibatkan menekan cairan yang berada dalam tabung kemudian dengan tekanan akan menggerakkan turbin yang digunakan untuk memutar generator.



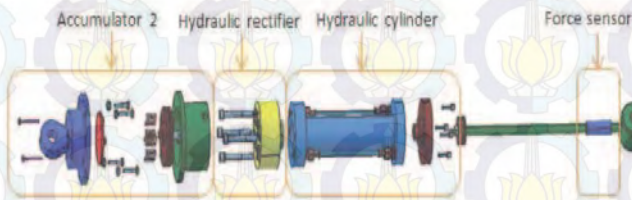
Gambar 2. 4 Desain hydraulic regenerative shock absorber

Dari hasil pengujian didapat bahwa didapatkan nilai koefisien redaman rata-rata *hydraulic regenerative shock absorber* sebesar 3796,75 Ns/m, Nilai konstanta pegas 20000 N/m, Dengan metode eksitasi impuls dan *damping ratio* 0.8, amplitudo 100 mm dan  $\Delta t$  0.48 sec energi bangkitan yang dihasilkan sebesar 2.6 volt dan daya 0,1352 watt, amplitudo 100 mm dan  $\Delta t$  0,53 sec energi bangkitan yang dihasilkan sebesar 0,2 volt dan daya 0,0008 watt, dan amplitudo 100 mm dan  $\Delta t$  0,61 sec energi angkitan yang dihasilkan sebesar 0,2 volt dan daya ,0008 watt.

#### 2.1.4. Hidraulic Hydraulic Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber oleh Zhigang Fang dkk

Pada tahun 2013, tim dari *Wuhan University of Technology* membuat suatu alat yaitu *Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber* yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Prinsip kerja dari alat ini adalah piston dari silinder hidrolis

didorong untuk membalas *under external stimulus*, minyak mengalir ke dalam dan keluar dari penyearah hidrolik dalam langkah kompresi atau stroke ekstensi, dan kemudian minyak mengalir melalui akumulator untuk melemahkan fluktuasi, yang mana digunakan untuk menggerakkan motor hidrolik untuk menghasilkan listrik. Energi listrik dapat mengisi baterai atau pasokan langsung ke kendaraan. Alat ini menggunakan dua akumulator, akumulator 1 digunakan untuk menstabilkan aliran untuk meningkatkan efisiensi kerja dari motor hidrolik, dan fungsi akumulator 2 adalah untuk mencegah distorsi high-frequency dari shock absorber. HESA *prototype* ini menghasilkan daya sebesar 200 watt di 10 Hz-3 mm dan memiliki efisiensi sebesar 16,6 persen.



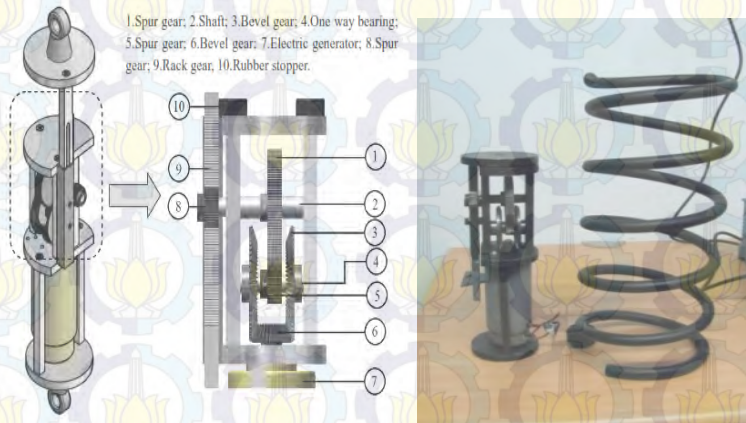
Gambar 2.5 *Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber* oleh Zhigang Fang dkk<sup>[1]</sup>

#### 2.1.5. Perkembangan Regenerative Shock Absorber Oleh Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Pada tahun 2013, Harus Laksana Guntur, Wiwiek Hendrowati dan Rahman Roy Lubis melakukan pengembangan dan pengujian *prototype* RSA yang disebut FRSA seperti pada gambar 2.9. Pengembangan yang dilakukan adalah penyempurnaan Generasi RSA sebelumnya sehingga didapatkan bentuk dan massa dari alat yang lebih baik. Prinsip kerja dari alat



ini memanfaatkan gerak naik dan turun pada *shock absorber* yang di hubungkan pada sistem transmisi gear berupa rack dan pinion gear yang berfungsi mengubah gerak translasi ( gerak naik turun ) menjadi gerak rotasi, lalu gerak rotasi digunakan untuk memutar *bevel gear* yang telah dipasangnya *way bearing* untuk bisa memanen gerak naik dan turun tersebut, lalu gerakan rotasi tersebut digunakan untuk memutar *electromagnetic generator*.



Gambar 2. 6 VERS VI dengan pegas<sup>[7]</sup>

Pengujian yang digunakan adalah dengan memasang suspensi secara bergantian ke *suspension test rig*, kemudian diuji dengan massa yang sudah di hitung. Hasil yang didapatkan pada pengujian ini adalah pada konvensional *shock absorber* koefisien redaman didapat sebesar 4338 Ns/m. Sedangkan pada RSA (17 Ohm) sebesar 3190 Ns/m, pada RSA (5.5 Ohm) sebesar 3190



Ns/m, dan pada RSA (0.2 Ohm) sebesar 2552 Ns/m<sup>[5]</sup>. Untuk *transmissibility displacement*, titik resonansi konvensional *shock absorber* dengan  $\zeta$  0.6 berada pada 1.3 sedangkan  $\zeta$  0.8 berada pada 1.195 untuk RSA 17 Ohm, titik resonansi  $\zeta$  0.6 berada pada 0.75 sedangkan  $\zeta$  0.8 berada pada 0.67<sup>[5]</sup>.

## **2.2 Mekanika Getaran**

### **2.2.1 Pengertian Getaran**

Secara umum getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan. Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan *properties* yang menyerupai pegas, ada dua kelompok umum dari getaran, yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena energi terdisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redaman kecil maka pengaruhnya sangat kecil terhadap frekuensi naturalnya, dan perhitungan frekuensi natural biasanya dilakukan atas dasar tidak ada redaman.

### **2.2.2 Getaran Bebas**

Getaran bebas terjadi jika sistem beroksilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri, dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.

### **2.2.3 Getaran Paksa**

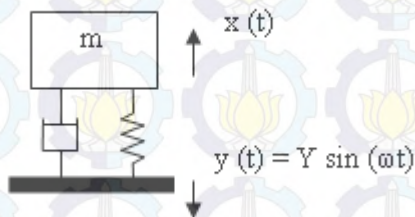
Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beroksilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapatkan keadaan resonansi dan osilasi yang

besar dan beresiko membahayakan. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan contoh kejadian yang disebabkan adanya resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.

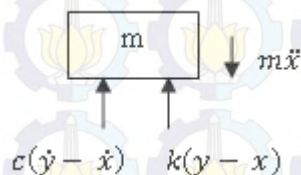
Bila suatu sistem dipengaruhi oleh eksitasi harmonik, maka respon getarannya akan berlangsung pada frekuensi yang sama dengan frekuensi eksitasi. Sumber-sumber eksitasi harmonik bisa berasal dari gaya-gaya pada peralatan mesin torak atau gerak mesin itu sendiri. Mula-mula akan diperhatikan sistem dengan satu derajat kebebasan yang mengalami redaman dan dirangsang oleh gaya harmonik  $y(t) = F_0 \sin(\omega t)$ , seperti pada gambar 2.8.

## 2.2.4 Getaran Harmonik

Getaran biasanya tidak terjadi hanya pada sistem pegasnya ataupun yang ditopangnya disini landasan dari sistem juga akan mengalami getaran berupa getaran harmonik.



Gambar 2. 7 Eksitasi pada landasan<sup>[7]</sup>



Gambar 2. 8 Free Body Diagram eksitasi pada base<sup>[7]</sup>

Dari *free body diagram* pada gambar 2.9 dan eksitasi pada landasan pada gambar 2.8 di atas, diperoleh persamaan gerak seperti di bawah:

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0$$

*Steady state response* dari massa adalah,  $x_p(t)$  yang dapat diekspresikan menjadi persamaan seperti di bawah dengan menggunakan persamaan:

$$x_p(t) = \frac{kY \sin(\omega t - \theta_1)}{[(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2]^{1/2}} + \frac{\omega cY \sin(\omega t - \theta_1)}{[(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2]^{1/2}}$$

Sehingga persamaan sistem diatas dapat ditulis:

$$\begin{aligned} x_p(t) &= X \sin(\omega t - \theta_1 - \alpha) \\ &= \left[ \frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} \sin(\omega t - \theta_1 - \alpha) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana nilai  $\alpha = \tan^{-1} \left[ -\frac{c\omega}{k} \right]$  dan  $\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right)$

Dari persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$x_p(t) = X \sin(\omega t - \theta)$$

Dimana  $\frac{X}{Y}$  adalah *displacement transmissibility* :

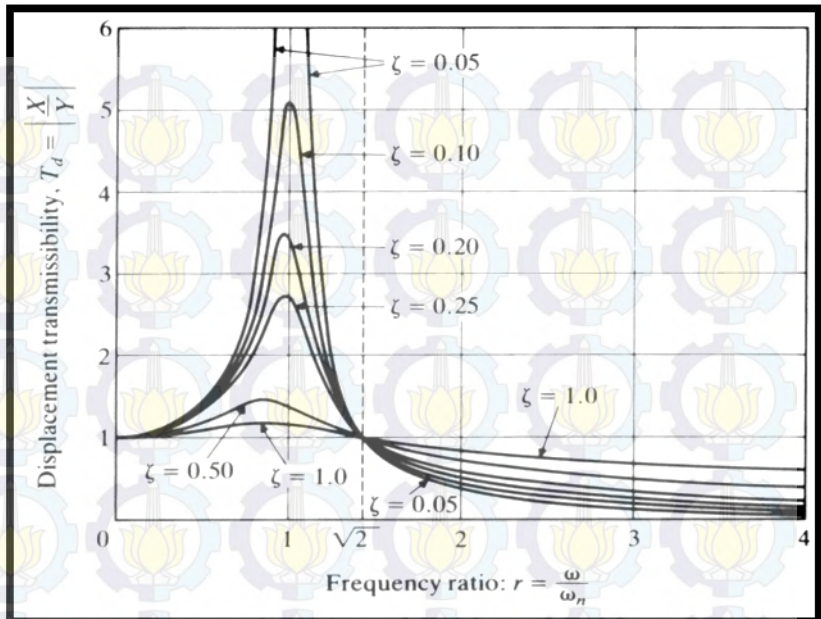
$$\frac{X}{Y} = \left[ \frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} = \left[ \frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$$

Dan,

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{m c \omega^3}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right] = \tan^{-1} \left[ \frac{2\zeta r^3}{1 + (4\zeta^2 - 1)r^2} \right]$$

Keterkaitan antara *damping ratio*, *frequency ratio* dan *displacement transmissibility* ditunjukkan pada grafik dibawah ini:



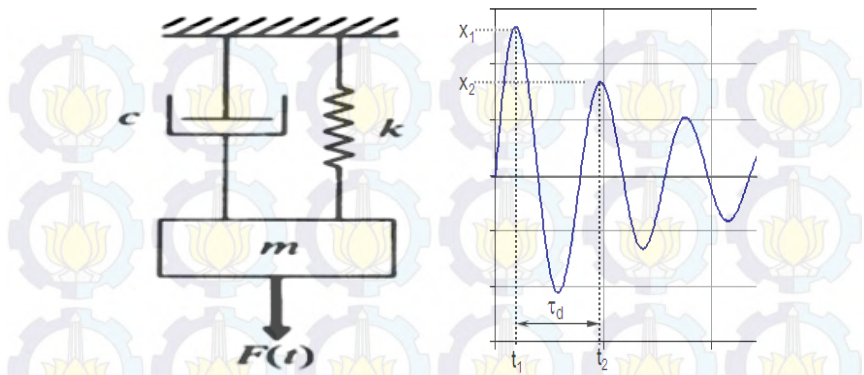


Gambar 2. 9 Displacement transmissibility vs frequency ratio <sup>[7]</sup>

### 2.2.5 Logarithmic decrement

*Logarithmic decrement* merupakan tampilan dari pengurangan amplitudo pada getaran bebas teredam. Dengan mengetahui seberapa besar *logarithmic decrement* ( $\delta$ ) pada sistem tersebut, maka besarnya konstanta redaman pada sistem juga dapat diketahui pula.





Gambar 2. 10 Sistem 1 DOF pada shock absorber sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya <sup>[7]</sup>

Dari gambar diatas diketahui dengan  $t$  sebagai waktu pada saat puncak pertama dan kedua, menunjukkan perpindahan puncak yang dimaksud sebagai  $x_1$  dan  $x_2$ , dan membentuk rasio:

$$\frac{x_1}{x_2} = e^{2\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Jika kedua ruas dilogaritma naturalkan akan menjadi:

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Persamaan diatas juga dapat ditulis sebagai:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}}$$

Dari grafik *displacement* fungsi waktu akan diperoleh nilai dari  $x_1$  dan  $x_2$ , kemudian nilai tersebut akan dimasukkan dalam persamaan *decreament* sehingga menjadi:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4(\pi)^2 + \delta^2}}$$

Dimana:

$\zeta$  = *damping ratio*

$\delta$  = *logaritmic decreament* =  $\ln \frac{x_1}{x_2}$

Nilai dari *damping ratio* sendiri dapat dicari dengan rumus:

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

Dimana:

k = konstanta pegas (N/m)

C = konstanta damping

m = massa beban (kg)

## 2.2.6 Konstanta Redaman

Dari nilai *damping ratio* dapat dicari besarnya konstanta redaman dari sistem dengan persamaan berikut:

$$\zeta = \frac{c}{c_c}$$

Dimana:  $c_c = 2\sqrt{km}$

Sehingga konstanta redaman bisa dhitung dengan persamaan berikut:

$$c = \zeta 2\sqrt{km}$$

Dimana:

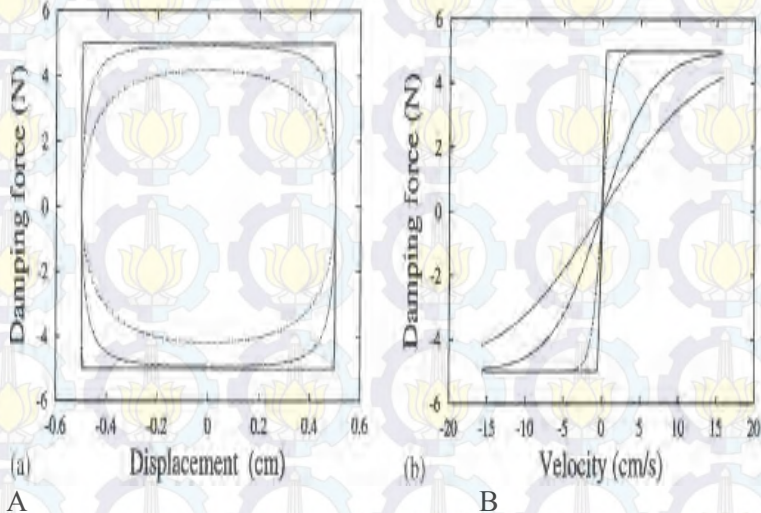
$\zeta$  = *damping ratio*

k = konstanta pegas (N/m)

c = konstanta redaman (Ns/m)

$C_c$  = *Critical damping*

Gaya redaman merupakan gaya yang meredam atau mengurangi getaran yang terjadi dalam sistem. Besarnya gaya redaman tergantung pada nilai konstanta redaman.



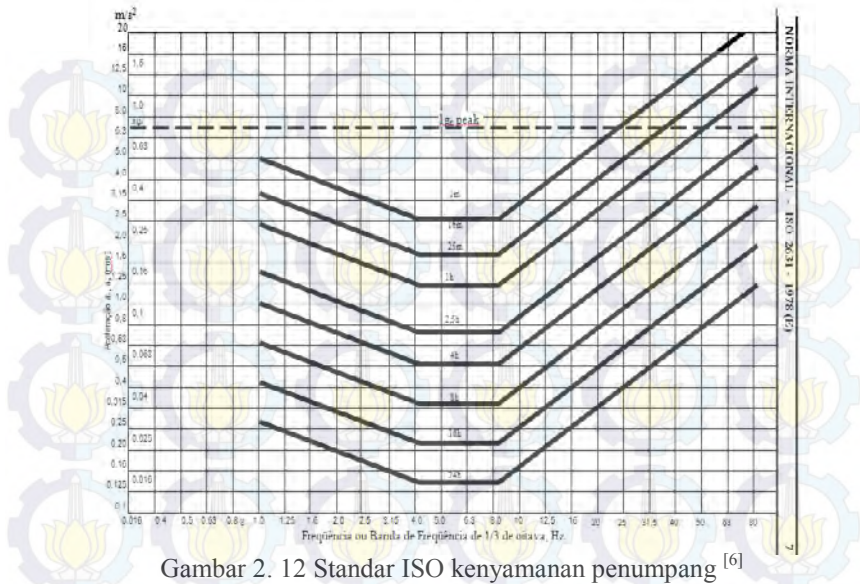
Gambar 2. 11 a Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan b. Grafik pengaruh gaya redaman terhadap kecepatan<sup>[7]</sup>

### 2.3 Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Manusia

Gerakan utama yang dialami pengemudi selama mengemudi adalah berapapercapatan atau perlambatan dan getaran. Informasi ketahanan badan manusia terhadap percepatan merupakan hal yang sangat penting sebagai referensi dalam perancangan ketahanan bodikendaraan terhadap *impact*.

Untuk kriteria kenyamanan berdasarkan besar percepatan menurut standart ISO 2631, ditampilkan pada tabel berikut:



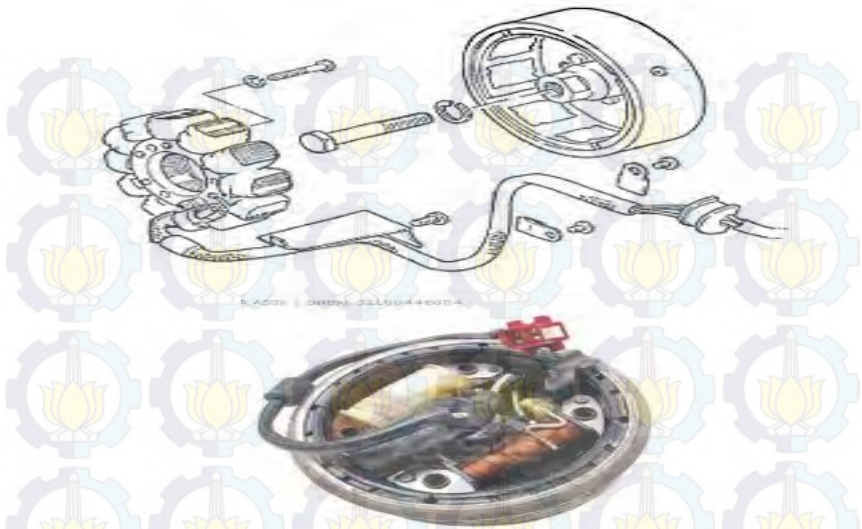


## 2.4 Alternator sebagai generator

Alternator pada sepeda motor berfungsi untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dari alternator sepeda motor sama dengan generator, alat ini berguna untuk merubah gerakan rotasi dari mesin menjadi energi listrik.

Konstruksi dari Alternator sepeda motor terdiri dari magnet permanen (rotor) dan kumparan kawat tembaga (stator). Magnet permanen biasanya dipasang pada poros *flywheel* dan kumparan kawat tembaga terpasang pada tutup mesin. Sehingga yang berputar adalah rotor (magnet). Pada rancang bangun alat *Regenerative Shock Absorber* ini, digunakan alternator sepeda motor sebagai pembangkit arus listrik karena memiliki karakteristik arus yang lebih besar jika dibandingkan dengan generator dari motor DC. Berikut ditampilkan gambar 2.12 konstruksi dari alternator sepeda motor.





Gambar 2. 13 Alternator AC sepeda motor

Besarnya gaya Lorentz dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot z$$

Keterangan:

F : Arah gaya penghantar (Newton)

B : Kerapatan flux magnet (weber)

$l$  : Panjang kawat penghantar (meter)

I : Arus DC (Ampere)

z : Jumlah penghantar

Adapaun Gaya gerak listrik induksi atau voltase yang dihasilkan dari generator dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut :

$$E_{\max} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$$

Dimana :

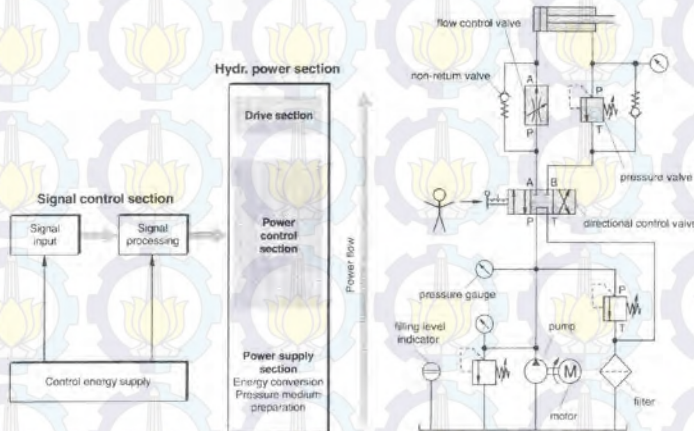
$N$  = jumlah lilitan

$B$  = kuat mean magnet(T)

$A$  = luas kumparan ( $m^2$ )

$w$  = kecepatan sudut (rad/s)

## 2.5 Sistem Hidrolik



Gambar 2. 14 Skema Sistem Hidrolik

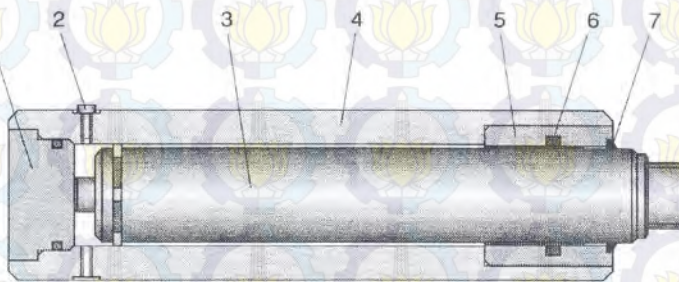
Sistem hidrolik biasanya dapat dibagi menjadi bagian pengontrol sinyal atau signal control section dan bagian penghasil daya atau power section dengan arah aliran sinyal seperti gambar 2.10. di atas sedang arah aliran daya dari bawah menuju ke bagian atas atau drive section.

## 2.6 Komponen – komponen Drive Section.

Komponen sistem hidrolik yang masuk dalam kategori ini berfungsi mengubah energi hidrolik yang dihasilkan oleh pompa menjadi energi mekanik dengan gerak translasi linier maupun angular atau rotasi. Drive section ini meliputi silinder dan motor hidrolik.

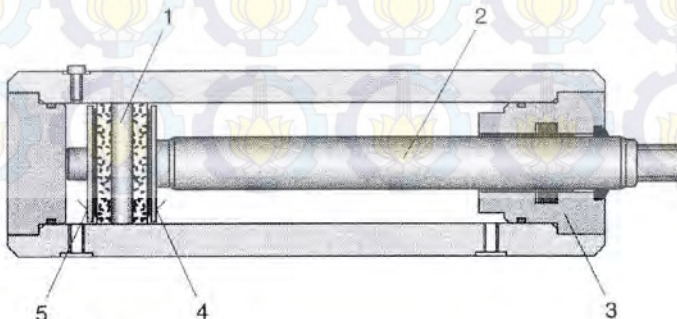
## 2.1 Silinder Hidraulic.

Silinder hidraulik mengubah energi hidraulik menjadi gerak translasi linier sehingga kadang-kadang disebut pula sebagai motor linier. Pada dasarnya ada 2 jenis silinder yang banyak digunakan seperti terlihat pada gambar 2.12. dan 2.13. dalam sistem hidraulik yaitu single acting dan double acting cylinder.



- |                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 1 Mounting screw  | 5 Piston rod bearing |
| 2 Vent screw      | 6 Piston rod seal    |
| 3 Piston rod      | 7 Wiper              |
| 4 Cylinder barrel |                      |

Gambar 2. 15 Silinder Single Acting



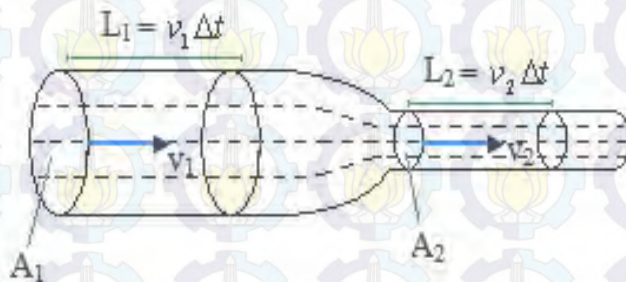
- |                          |
|--------------------------|
| 1 Piston                 |
| 2 Piston rod             |
| 3 Piston rod bearing     |
| 4 Annular piston surface |
| 5 Piston surface         |



Gambar 2. 16 Silinder Doubler Acting

## 2.7 Hukum Kontinuitas

Bayangkan s uatu permukaan yang berbatas dalam suatu fluida yang bergerak. Maka, pada umumnya, fluida yang mengalir masuk ke dalam volume yang dilingkupi permukaan tersebut di titik-titik tertentu dan keluar di titik-titik lain.

Gambar 2. 17 Aliran dalam bejana <sup>[2]</sup>

Gambar di atas menunjukkan aliran fluida dari kiri ke kanan ( fluida mengalir dari pipa yang berdiameter besar menuju diameter yang kecil ). Garis putus-putus merupakan garis arus.

Keterangan gambar :

$A_1$  = luas penampang bagia pipa yang berdiameter besar.

$A_2$  = luas penampang bagian pipa yang berdiameter kecil.



$v_1$  = kecepatan aliran fluida pada bagian pipa yang berdiameter besar.

$v_2$  = kecepatan aliran fluida pada bagian pipa yang berdiameter kecil.

$L$  = jarak tempuh fluida.

Pada fluida tak-termampatkan (incompressible), kerapatan alias massa jenis fluida selalu sama di setiap titik yang dilaluinya.

Massa fluida yang mengalir dalam pipa yang memiliki luas penampang  $A_1$  (diameter pipa yang besar) selama selang waktu tertentu adalah :

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V$$

$$m_1 = \rho V_1 \rightarrow V_1 = A_1 L_1 = A_1 v_1 t$$

$$m_1 = \rho A_1 v_1 t$$

Demikian juga, massa fluida yang mengalir dalam pipa yang memiliki luas penampang  $A_2$  (diameter pipa yang kecil) selama selang waktu tertentu adalah :

Mengingat fluida yang masuk sama dengan :

$$m_2 = \rho V_2 \rightarrow V_2 = A_2 L_2 = A_2 v_2 t$$

$$m_1 = m_2$$

$$\rho A_1 v_1 t = \rho A_2 v_2 t$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Jadi, pada fluida tak-termampatkan, berlaku persamaan kontinuitas :

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Keterangan :

$A_1$  = Luas penampang 1

$A_2$  = Luas penampang 2

$v_1$  = Kecepatan aliran fluida pada penampang 1

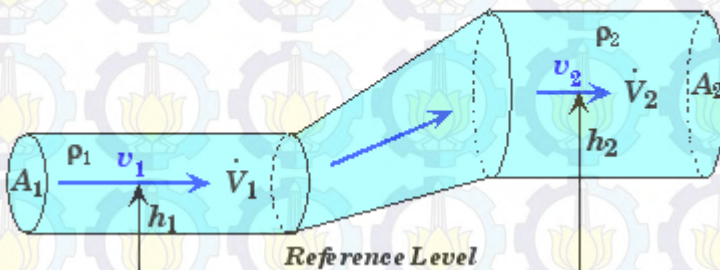
$v_2$  = Kecepatan aliran fluida pada penampang 2

$Av$  = Laju aliran volume  $V/t$  alias debit

## 2.8 Hukum Bernouli

Hukum bernouli menyatakan bahwa tekanan dari fluida yang bergerak seperti udara berkurang ketika fluida tersebut bergerak lebih cepat. Hukjum Bernoulli ditemukan oleh Daniel Bernoulli, seorang matematikawan swiss yang menemukannya pada tahun 1700. Bernoulli menggunakandasar matematika untuk merumuskan hukumnya. Berikut ialah rumus dasar dari hokum bernouli :

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \rho_2 g h_2$$



Gambar 2. 18 Penerapan gambar hukum bernouli pada penampang

Jika lossis juga diperhitungkan maka persamaan diatas menjadi :

$$\frac{P_1}{\rho} + \alpha \frac{V_1^2}{2} + gh_1 = \frac{P_p}{\rho} + \alpha \frac{V_p^2}{2} + gh_p + h_T$$

Keterangan :

P = Tekanan Pascal ( Pascal )

V = Kecepatan ( m/s )

$\rho$  = massa jenis fluida ( kg/m<sup>3</sup> )

h = ketinggian ( m )

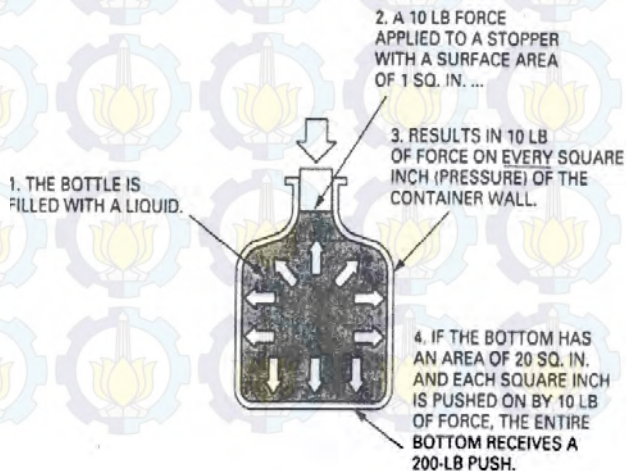
g = percepatan gravitasi ( m/s<sup>2</sup> )

$h_T$  = Head loss total.

## 2.9 Hukum Pascal

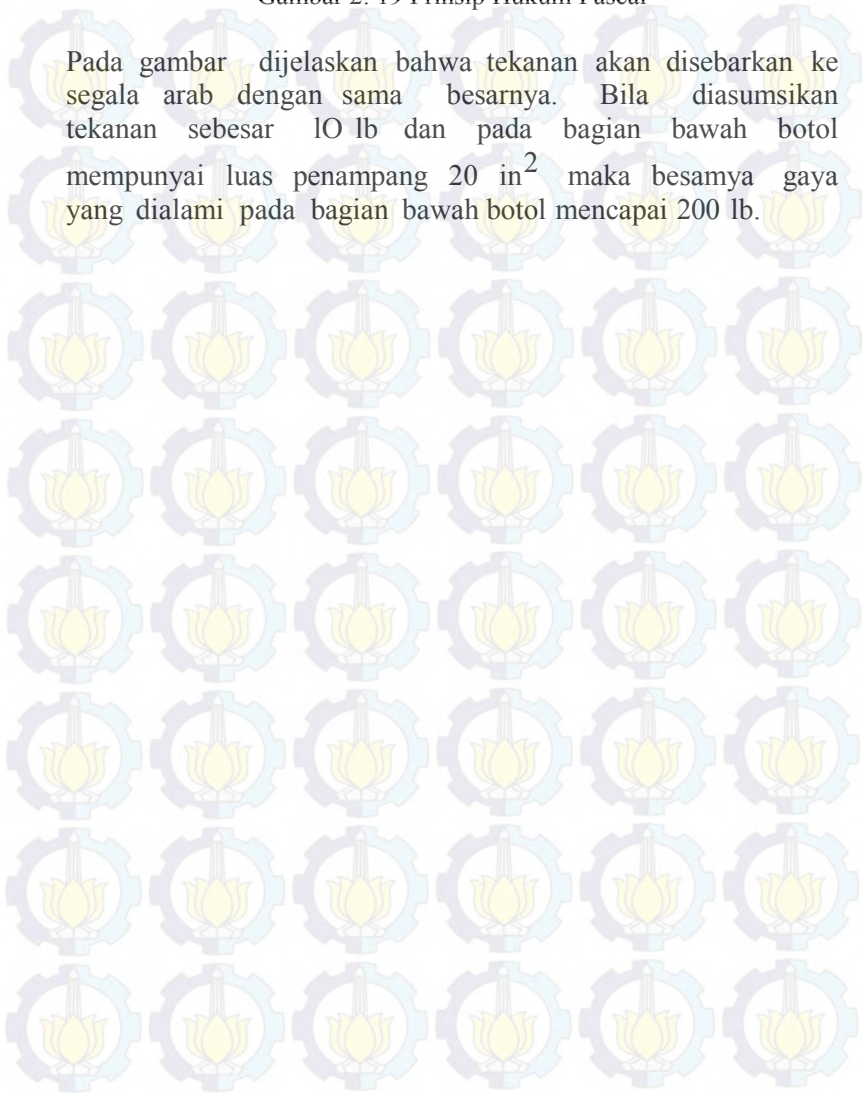
Hukum pascal menjadi prinsip dasar transmisi daya yang dilakukan oleh fluida atau minyak hidrolik. Tekanan didalam fluida statis mempunyai sifat sebagai berikut :

1. Tekanan bekerja tegak lurus terhadap permukaan dinding.
2. Tekanan bekerja sama di semua titik.



Gambar 2. 19 Prinsip Hukum Pascal

Pada gambar dijelaskan bahwa tekanan akan disebarakan ke segala arah dengan sama besarnya. Bila diasumsikan tekanan sebesar 10 lb dan pada bagian bawah botol mempunyai luas penampang 20 in<sup>2</sup> maka besarnya gaya yang dialami pada bagian bawah botol mencapai 200 lb.





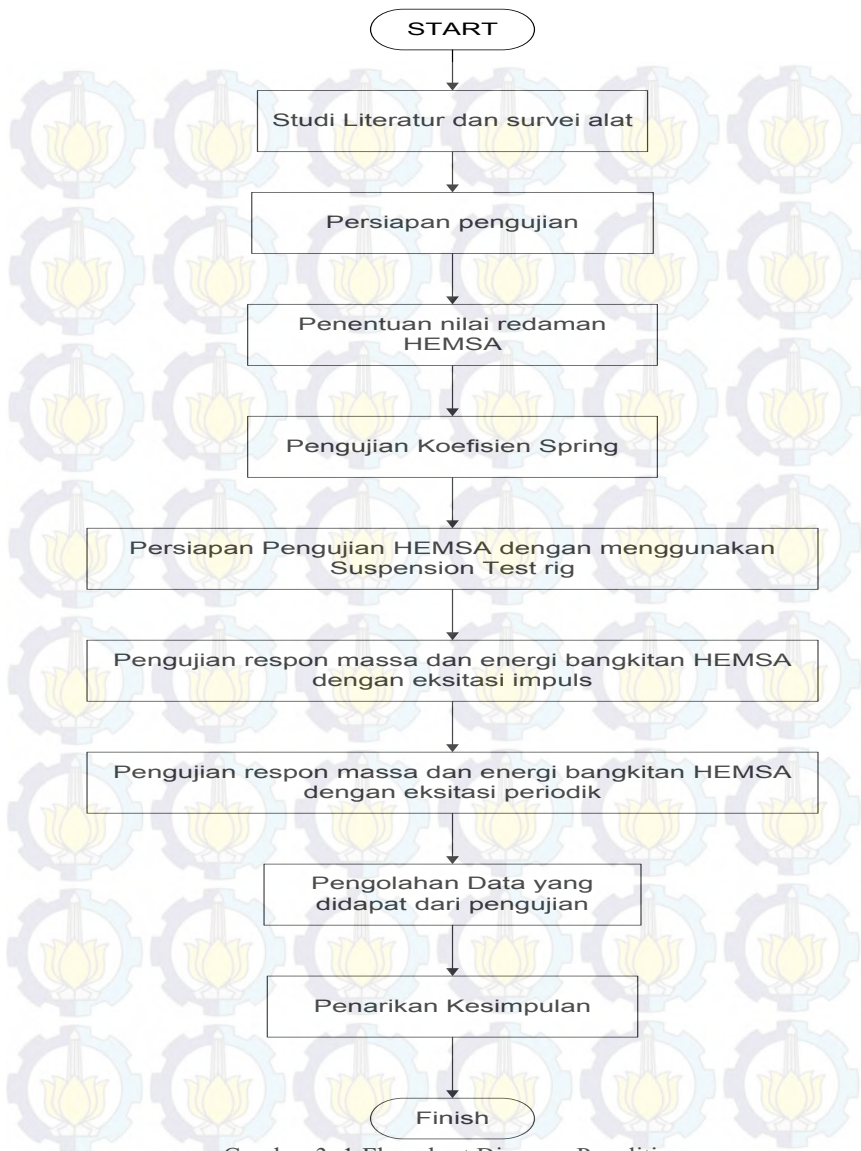


### **BAB III**

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

##### **3.1.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir**

Tahapan – tahapan penelitian Hidraulic Electro Mechanic Shock Absorber ialah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Flowchart Diagram Penelitian

### 3.1.2 Studi Literatur dan survei alat uji

Pada tahap studi literatur penulis melakukan kajian dan mengambil beberapa teori penunjang dari buku-buku, artikel, jurnal ilmiah dan tugas akhir terdahulu. Teori mengenai shock absorber dan pemanfaatan energi pada suspensi kendaraan, baik itu kelebihan atau kelemahan sehingga diharapkan dapat menambah wawasan dalam mengerjakan laporan serta membantu dalam menganalisa dan membahas hasil pengujian pada tugas akhir ini.

### 3.1.3 Persiapan Pengujian

Tahap persiapan pengujian yaitu berupa penyiapan alat uji, pemasangan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) pada alat uji ( suspension test rig ), *set up* alat uji untuk setiap jenis pengujian.

### 3.1.4 Penentuan gaya redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*

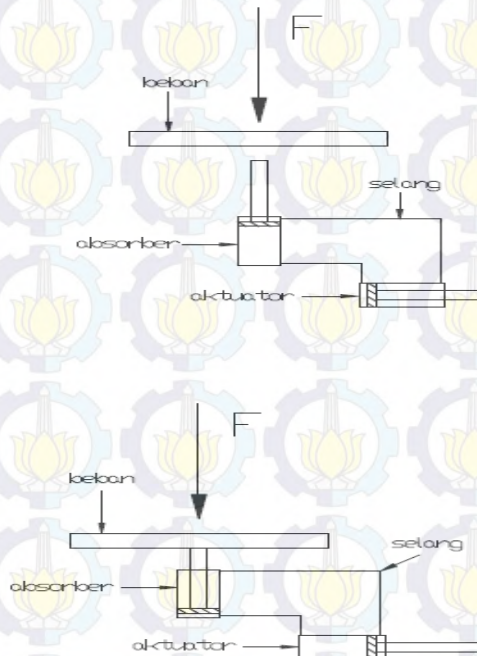
Penentuan nilai redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) adalah dengan pengujian statis pada gaya redaman. Pengujian statis dibagi menjadi 4, yaitu, pengujian *viscouse damping*, *viscouse damping + friction damping*, *viscouse damping + friction damping + electrical damping* tanpa pembebanan, dan *viscouse damping + friction damping + electrical damping* dengan pembebanan akumulator. Ke – 4 pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai gaya redaman akibat pembebanan listrik serta nilai distribusi redaman akibat *viscouse damping*, *friction damping* dan *electrical damping*.

Pada kasus ini, pengujian gaya redaman dilakukan dengan cara memberikan massa uji sebesar 250 kg, massa uji tersebut sebagai gaya yang akan mendorong hidrolis dari posisi *full stroke* (titik mati atas) sampai titik mati bawah (*retrack*). Pada kondisi awal *rod Hydraulic* dikondisikan pada kondisi *fullstroke*, Jarak titik atas ke titik mati bawah diukur dan dicatat, kemudian waktu

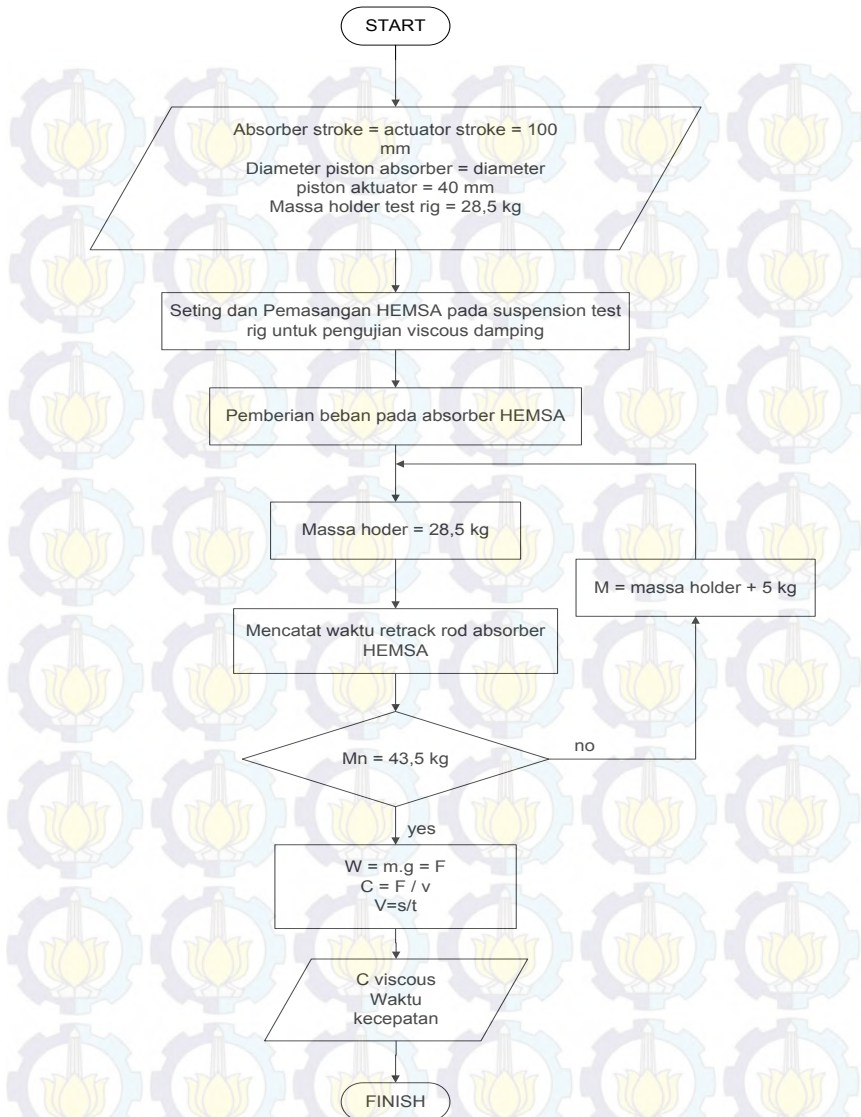


tempuhnya dikonversi sehingga didapatkan kecepatan, pengujian ini dilakukan pada berbagai variasi dari massa uji dan pembebanan.

1. Berikut ialah flowchart dan skema pengujian nilai redaman viscous.

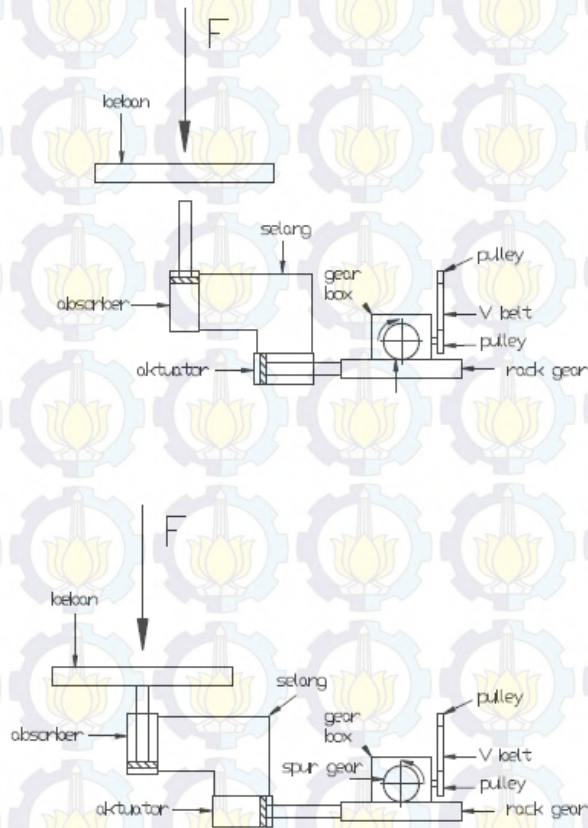


Gambar 3. 2 skema pengujian nilai redaman viscous

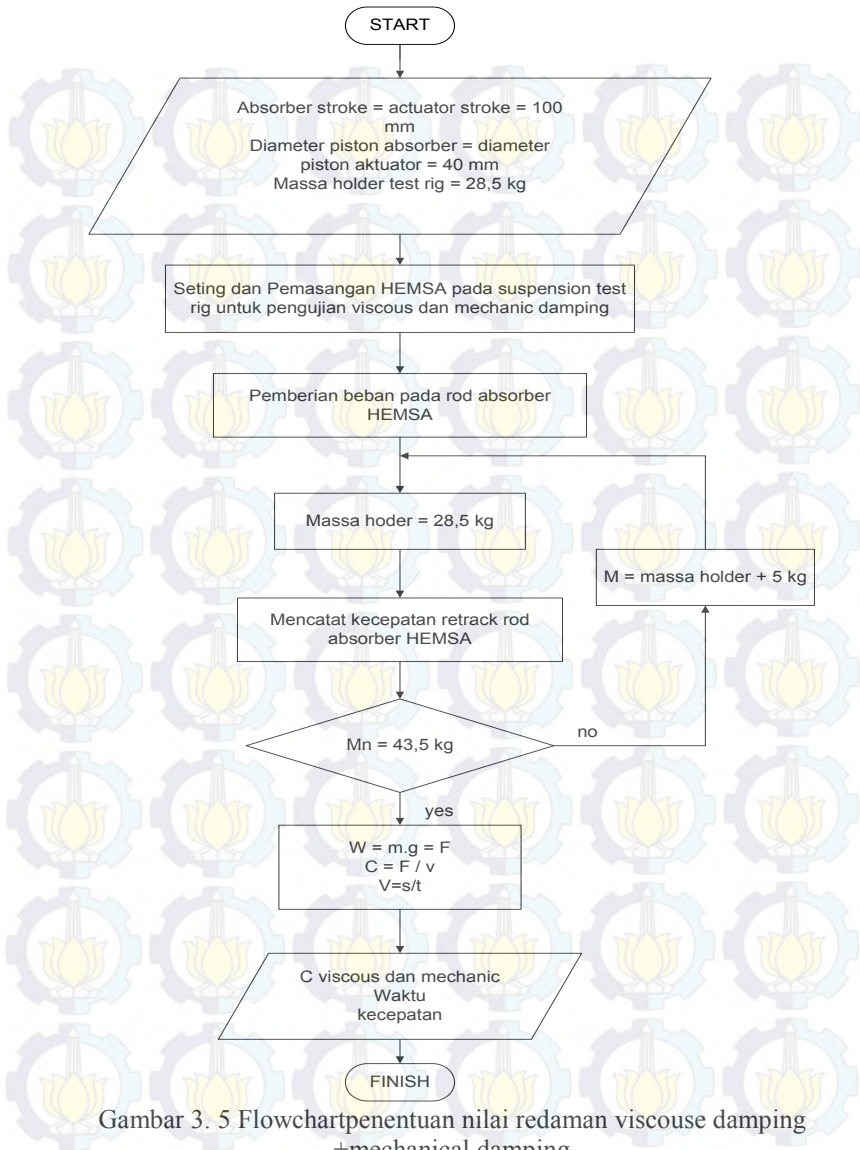


Gambar 3. 3 Flowchart penentuan nilai redaman viscouse damping

2. Berikut ialah flowchart dan skema pengujian nilai redaman viscous dan mechanic.

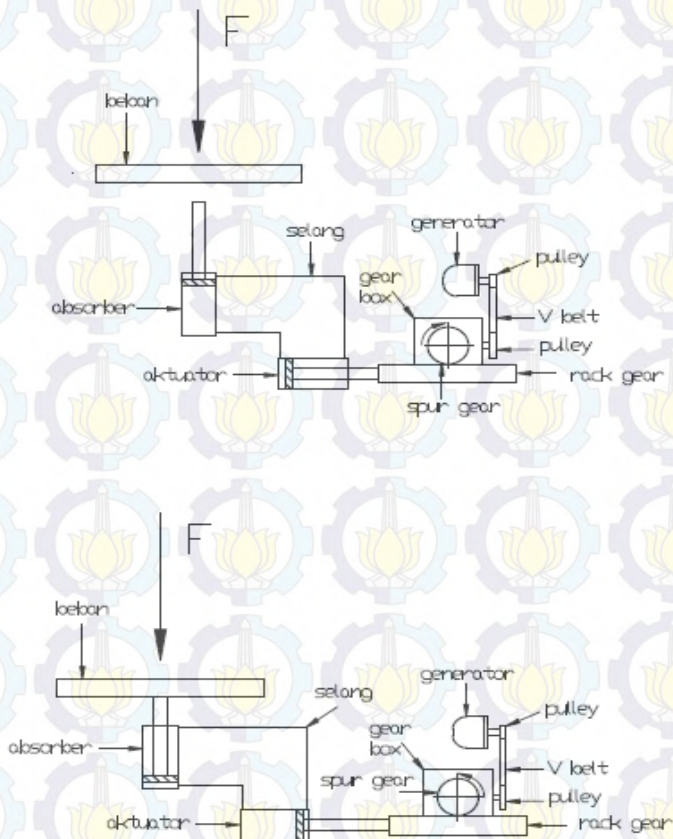


Gambar 3. 4 skema pengujian nilai redaman viscouc dan mechanical.

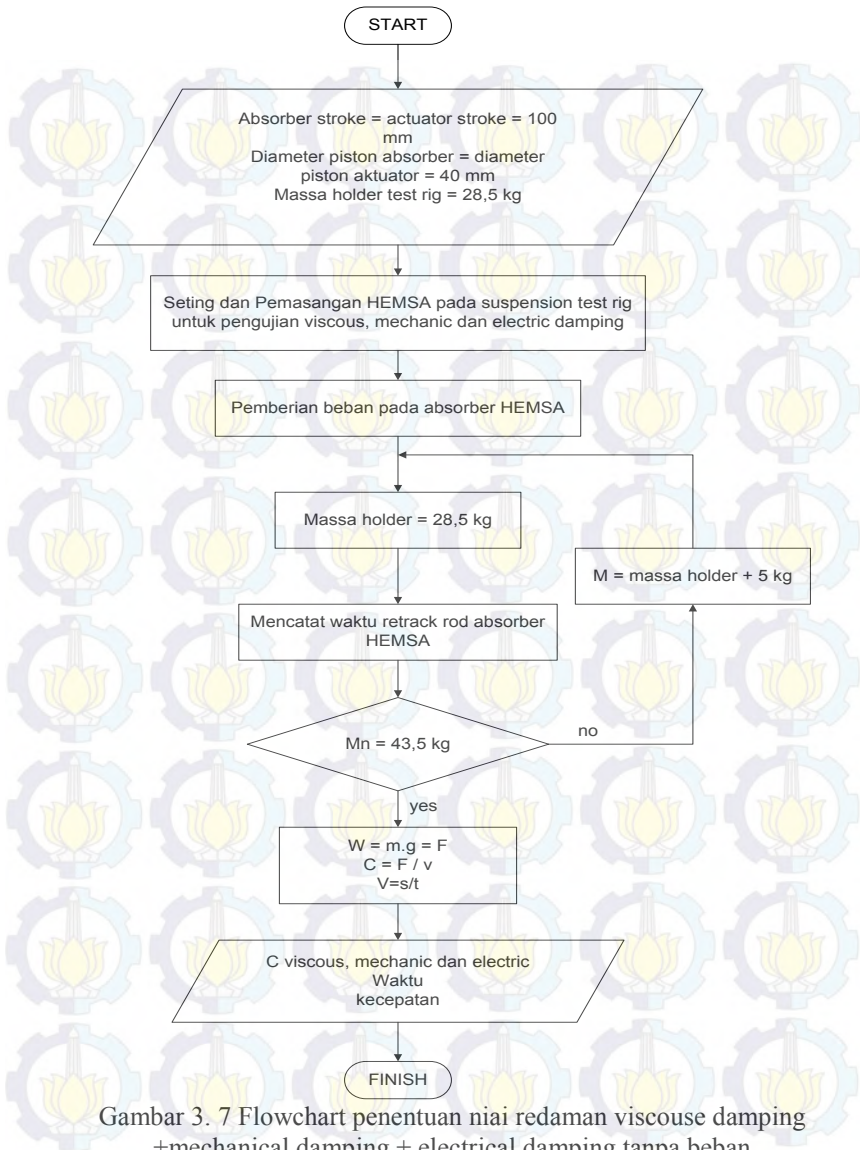




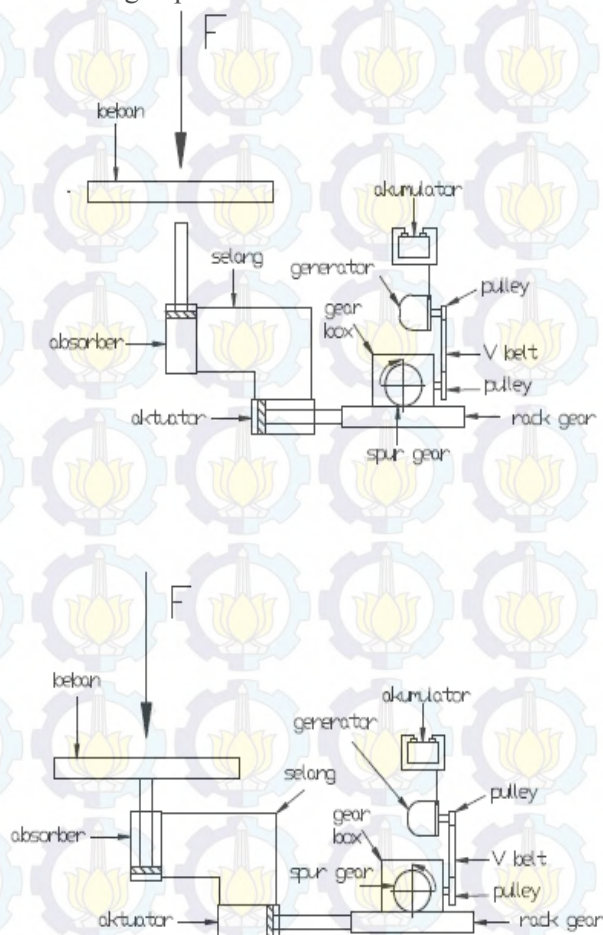
3. Berikut ialah flowchart dan skema pengujian nilai redaman total tanpa menggunakan pembebanan akumulator.

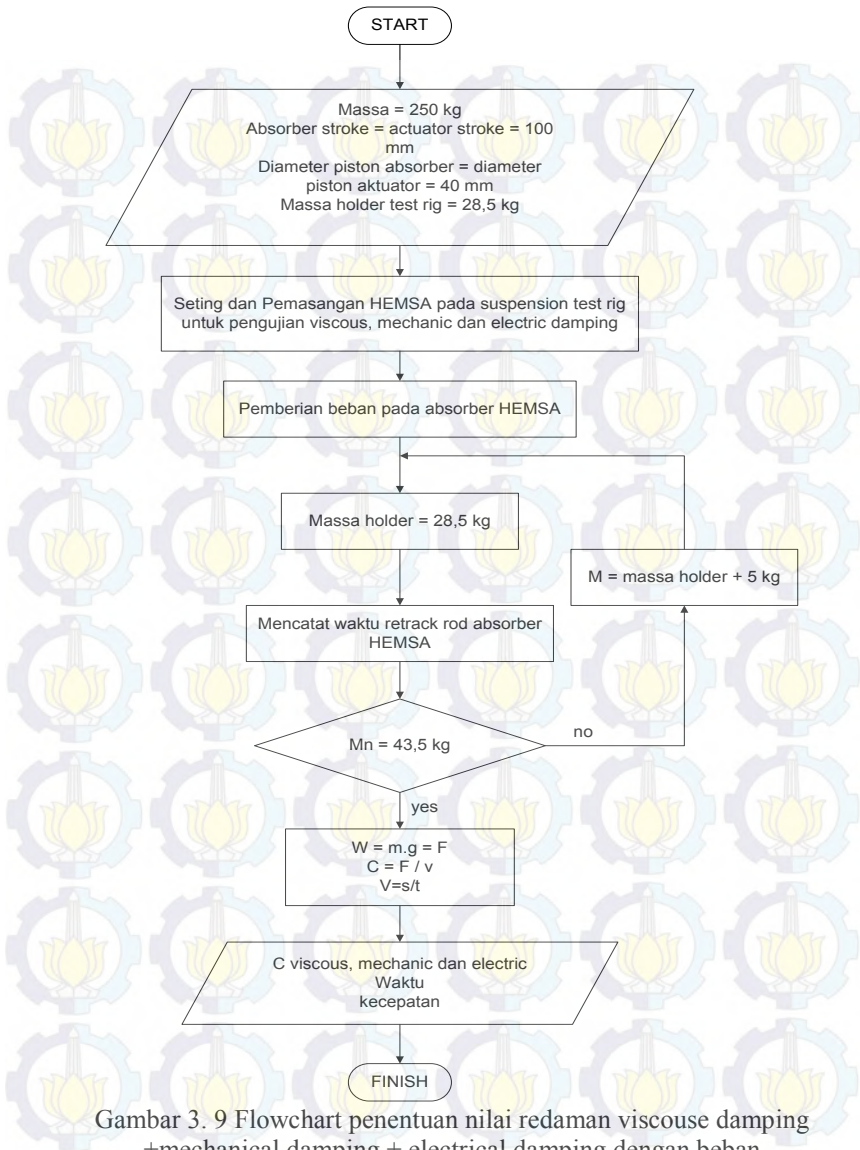


Gambar 3. 6 skema pengujian nilai redaman total tanpa pembebanan akumulator



4. berikut ialah flowchart dan skema pengujian nilai redaman total dengan pembebanan akumulator.

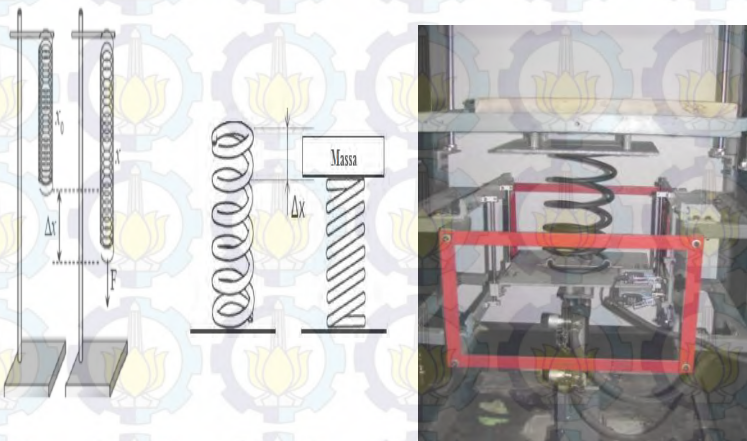






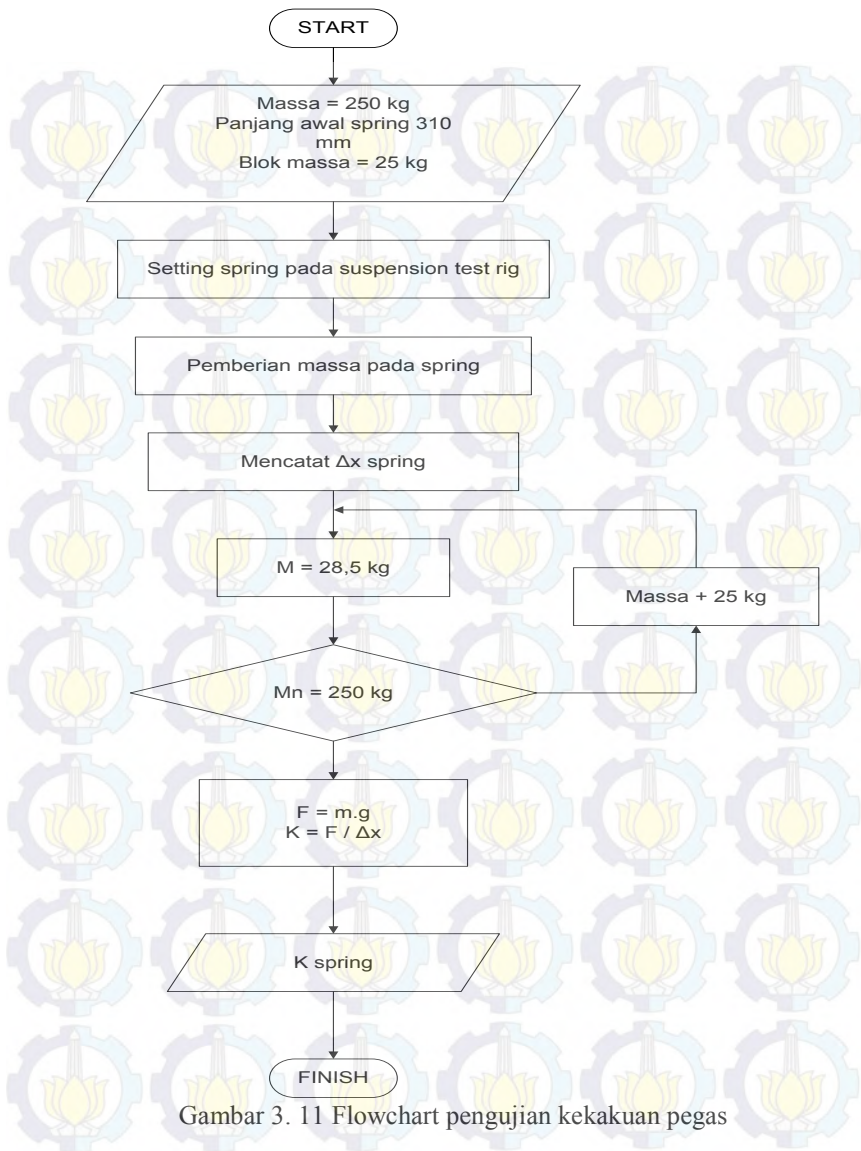
### 3.1.5 Pengujian koefisien spring(pegas)

Pengujian koefisien dilakukan dengan memberikan massa penekanan pada *spring* kemudian dicatat perubahan panjang pada *spring* ( $\Delta x$ ). Dari data yang diperoleh akan dihitung nilai koefisien spring ( $k$ ) sesuai dengan Hukum Hooke, yaitu  $F = k \cdot \Delta x$ . Pada penelitian Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber ialah menggunakan massa  $\frac{1}{4}$  kendaraan, sehingga massa sebesar 250 kg secara bertahap diletakkan pada *suspension test rig* yang telah diatur dengan pemasangan spring, lalu dicatat perubahan panjang ( $\Delta x$ ) dari *spring* yang telah terpasang tersebut. Dimana massa ( $m$ ) akan dikalikan gravitasi ( $g$ ) sehingga menjadi gaya yang akan menekan spring tersebut.



Gambar 3. 10 Pengujian kekakuan Pegas (  $k$  )

Berikut ini adalah *flowchart* pengujian koefisien spring:



Gambar 3. 11 Flowchart pengujian kekakuan pegas

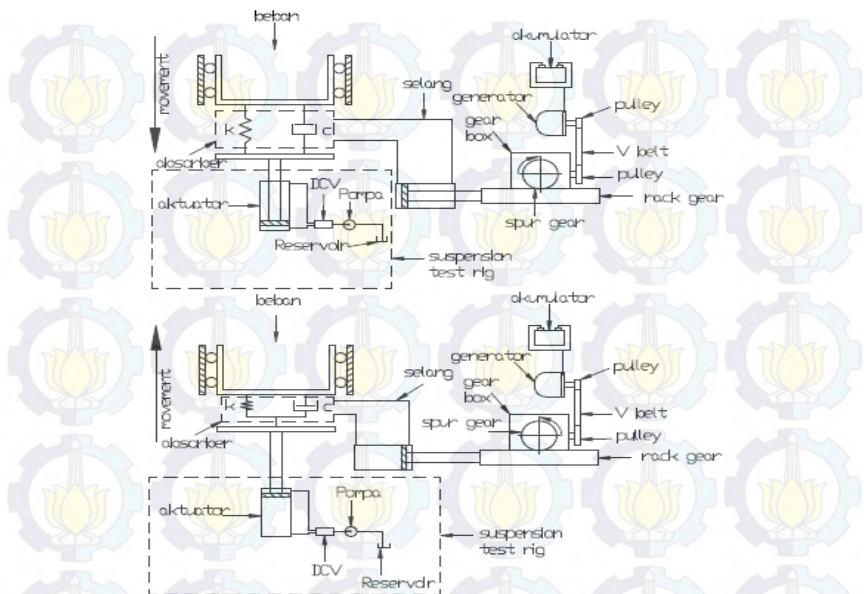
### 3.1.6 Persiapan Pengujian Mekanisme HEMSA dengan Menggunakan Suspension Test Rig.

Pada tahapan ini ialah persiapan mekanisme Hidraulic Electro Mechanic Shock Absorber ( HEMSA ) pada *Suspension Test Rig*. Persiapan ini meliputi pemasangan absorber pada holder massa suspension tesrig dan bagian bawah suspension test rig. Kemudian pemasangan massa sebesar 250 kg pada suspension test rig. Penyetelan nilai frekuensi dimana pada penelitian kali ini menggunakan variasi frekuensi sebesar 1,4Hz, 1,7Hz, dan 2Hz. Barulah tahapan yang terakhir ialah pemasangan accelerometer sprung dan unsprung pada suspension test rig dan setting osciloskop.

### 3.1.7 Pengujian Respon Massa dan Energi bangkitan HEMSA akibat eksitasi Impulsif.

Pada pengujian respon massa, akan dilakukan 2 pengujian yaitu impulsif dan periodik. Untuk pengujian impulsif dilakukan sebagai berikut :

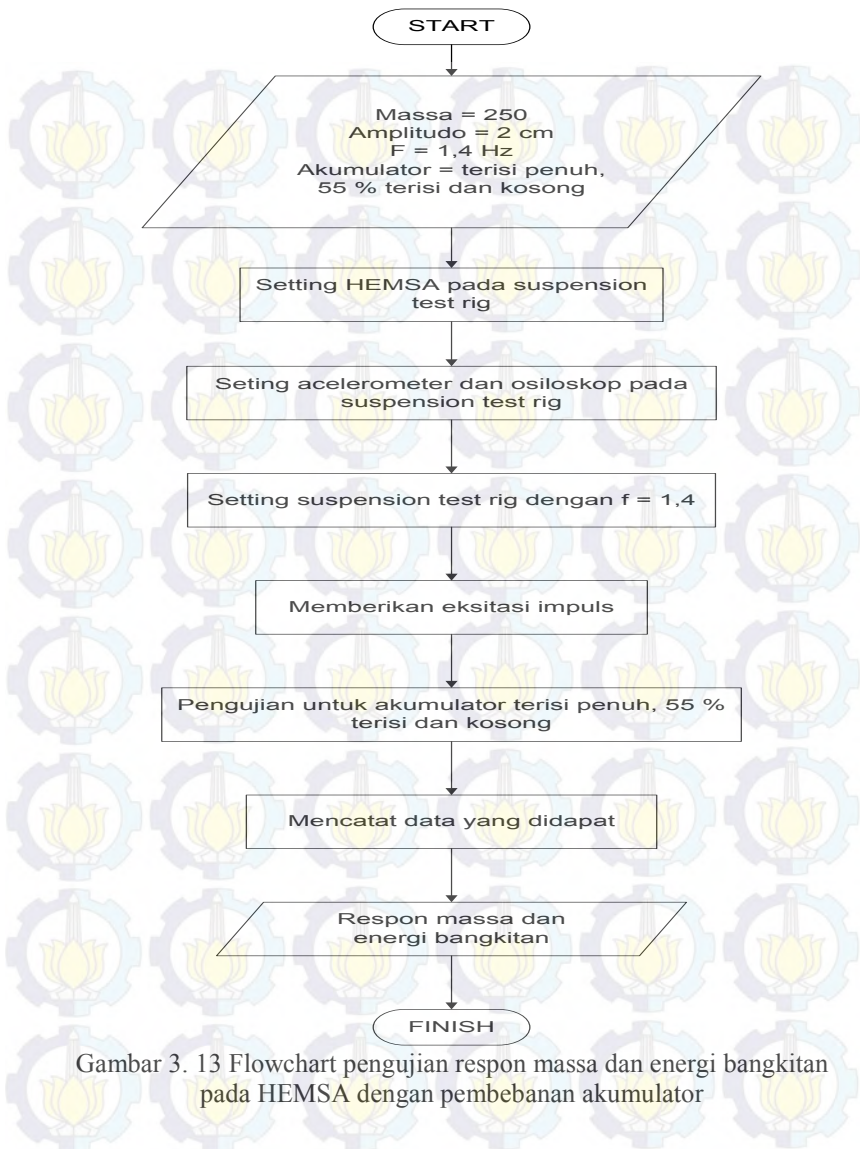
- a. Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi impuls.
- b. Massa uji yang digunakan didapat pada massa uji  $\frac{1}{4}$  kendaraan (m) = 250Kg.
- c. Amplitudo yang diuji adalah  $A = 2 \text{ cm}$
- d. Memvariasikan beban pengujian yaitu akumulator terisi penuh, kosong dan 55% terisi.
- e. Menyimpan grafik yang ditangkap oleh osciloskop.
- f. Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan massa landasan (*unsprung mass*) pada akibat dari eksitasi yang diberikan.



Gambar 3. 12 Skema pengujian respon massa secara impulsif

Berikut ialah flowchart pengujian respon massa dan energi bangkitan HEMSA akibat eksitasi impulsif.





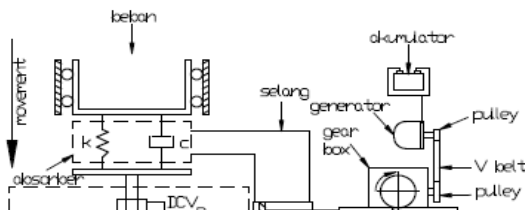
Gambar 3. 13 Flowchart pengujian respon massa dan energi bangkitan pada HEMSA dengan pembebanan akumulator

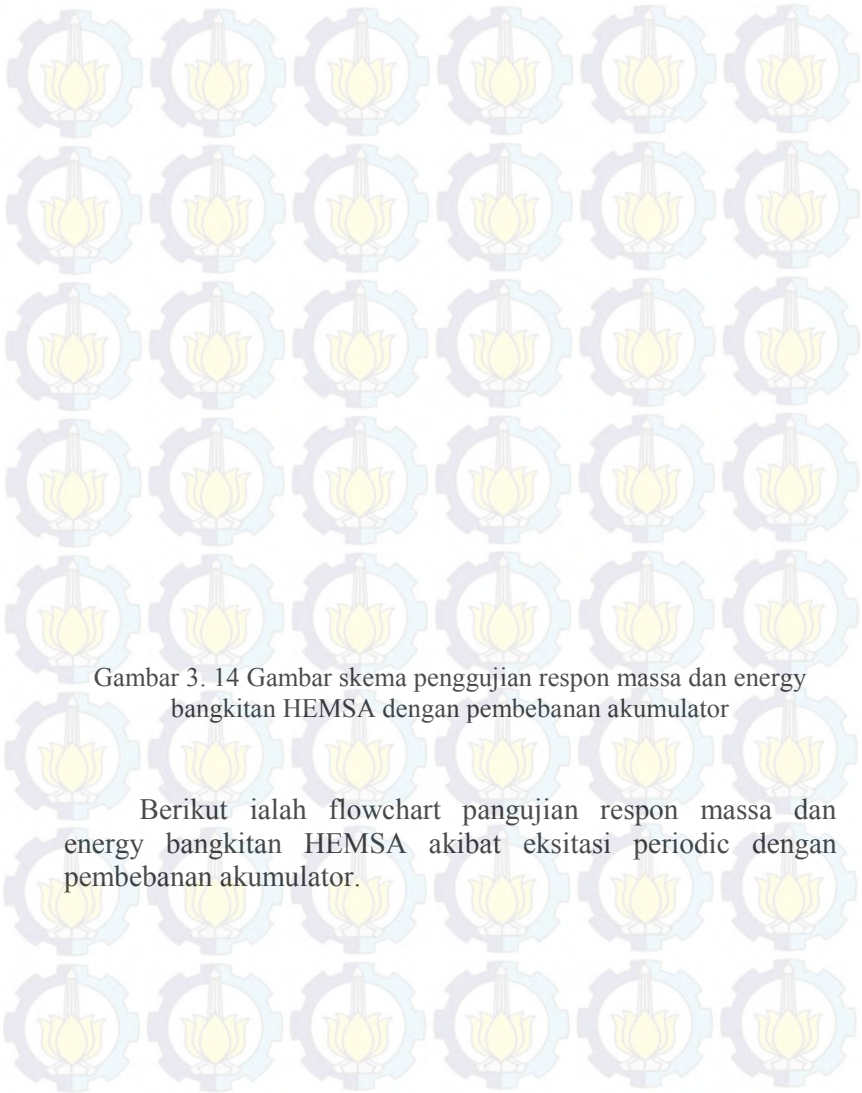
### 3.1.8 Pengujian Respon Massa dan Energi Bangkitan HEMSA akibat eksitasi Periodik.

Pada pengujian respon massa, akan dilakukan 2 pengujian yaitu impulsif dan periodik. Untuk pengujian impulsif dilakukan sebagai berikut :

Lalu untuk pengujian periodik dilakukan sebagai berikut :

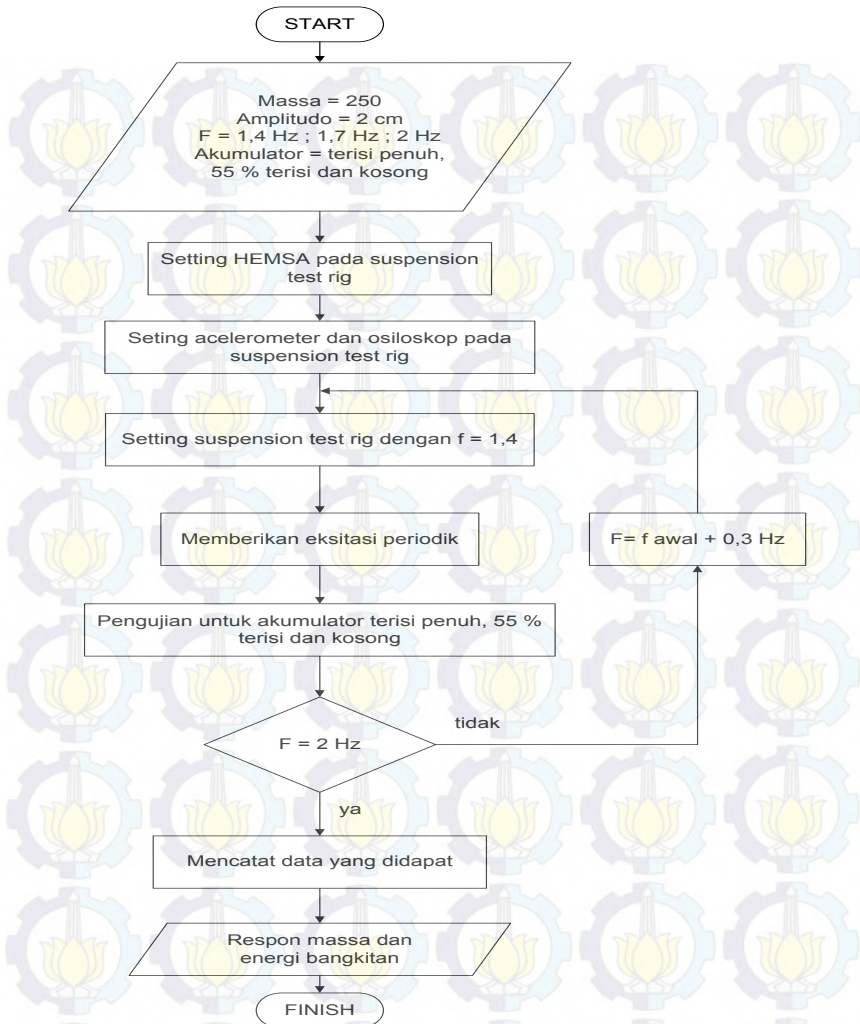
- Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi harmonik.
- Massa uji yang digunakan didapat didapat pada massa uji  $\frac{1}{4}$  kendaraan ( $m$ ) = 250Kg.
- Terdapat amplitudo pada pengujian yaitu  $A = 2$  cm. Pada amplitudo tersebut terdapat frekwensi yang berbeda yaitu 1,4Hz, 1,7Hz, 2 Hz.
- Memvariasikan beban pengujian yaitu akumulator terisi penuh, kosong dan 55 % terisi.
- Mencatat arus induksi dan voltase bangkitan yang dihasilkan pada HEMSA.
- Membuat grafik dan membandingkan pada tiap variasi amplitudo dan frekuensi terhadap daya bangkitan dari tiap-tiap suspensi tersebut.
- Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan massa landasan (*unsprung mass*) pada akibat dari eksitasi yang diberikan.





Gambar 3. 14 Gambar skema pengujian respon massa dan energy bangkitan HEMSA dengan pembebanan akumulator

Berikut ialah flowchart pangujian respon massa dan energy bangkitan HEMSA akibat eksitasi periodic dengan pembebanan akumulator.



Gambar 3. 15 Flowchart pengujian respon massa dan energy bangkitan HEMSA akibat eksitasi periodic dengan pembebanan akumulator.

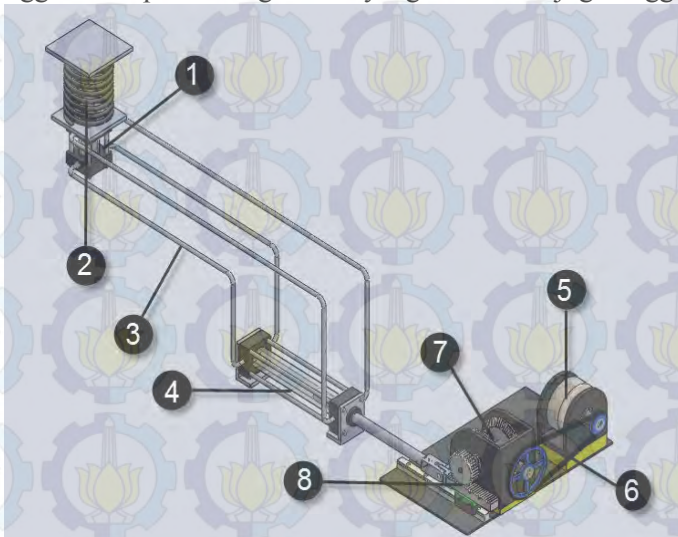


### 3.2 Peralatan yang Digunakan

#### 3.2.1 *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA)

HEMSA merupakan suatu alat ini memanfaatkan gerak translasi pada sistem suspensi berupa *cylinder hydraulic*, yang akan mendistribusikan aliran fluida ke *cylinder hydraulic* lainnya sebagai aktuator. Gerak translasi aktuator akan dikonversi menjadi gerak rotasi dengan menggunakan mekanisme *rack and pinion gear*, kemudian gerak rotasi diteruskan oleh *gearbox* yang di dalamnya terdapat *bevel gear* dan menggunakan *one-way bearing* untuk membuat putaran yang searah. Kemudian, putaran dari *gearbox* tersebut nantinya akan disambungkan dengan *pulley* dan *belt* menuju generator yang berfungsi untuk menghasilkan listrik.

Dengan menggunakan perbandingan silinder *Hydraulic* 40:30, kelebihan dari HEMSA ini adalah dengan panjang stroke yang besar maka akan dihasilkan putaran generator yang lebih tinggi, sehingga diharapkan energi listrik yang dihasilkan juga tinggi.



Keterangan Gambar:

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1. Hidrolik Aktuator 1                   | 2. <i>Spring</i>                 |
| 4. Hidrolik Aktuator 2                   | 3. Selang Hidrolik               |
| 7. <i>One way bearing&amp;Bevel Gear</i> | 5. Generator                     |
|  | 6. Belt & Pulley                 |
|  | 8. <i>Rack &amp; Pinion Gear</i> |

Gambar 3. 16 Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)

### 3.2.2 Suspension test rig

Suspension testrig ialah alat uji yang digunakan untuk mengetahui respon massa dan energy bangkitan dari HEMSA. Suspension testrig tersebut dirancang dan didesain oleh mahasiswa ITS melalui project tugas akhir. Model pengujian dari alat ini adalah *quarter model*, dimana pada suspensi yang diuji merepresentasikan  $\frac{1}{4}$  massa kendaraan.



Gambar 3. 17 Suspension test rig

### 3.2.3 Oscilloscope

Oscilloscope adalah alat yang dapat menunjukkan grafik sinusoidal voltase bangkitan dari sebuah sistem yang telah dihubungkan sebelumnya. Alat ini dihubungkan dengan HEMSA untuk mengetahui voltase bangkitan dari alat tersebut.



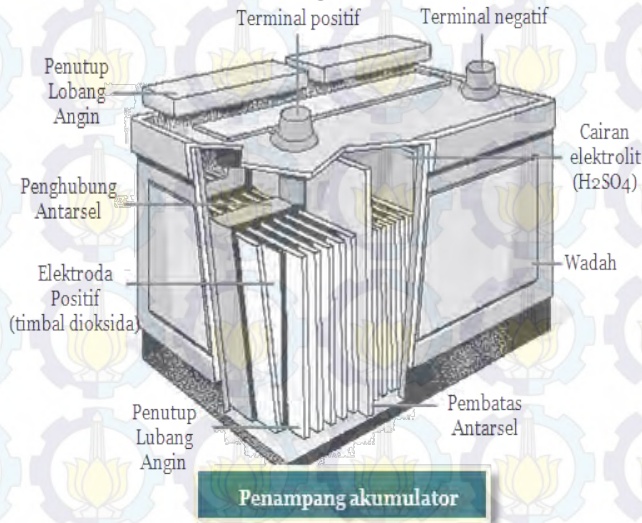
Gambar 3. 18 Oscilloscope

### 3.2.4 Akumulator

**Akumulator** (*accu, aki*) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Contoh-contoh akumulator adalah baterai dan kapasitor. Di dalam standar internasional setiap satu cell akumulator memiliki tegangan sebesar 2 volt. sehingga aki 12 volt, memiliki 6 cell sedangkan aki 24 volt memiliki 12 cell. Aki merupakan sel



yang banyak kita jumpai karena banyak digunakan pada sepeda motor maupun mobil. Aki termasuk sel sekunder, karena selain menghasilkan arus listrik, aki juga dapat diisi arus listrik kembali. secara sederhana aki merupakan sel yang terdiri dari elektrode Pb sebagai anode dan  $PbO_2$  sebagai katode dengan elektrolit  $H_2SO_4$ . Berikut ialah gambar dari akumulator.



Gambar 3. 19 Akumulator dan bagian – bagiannya.

### 3.2.5 Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur yang ketelitiannya dapat mencapai seperseratus milimeter. Jangka sorong mempunyai dua rahang, yaitu rahang tetap dan rahang sorong. Pada rahang tetap terdapat skala utama dan pada rahang sorong terdapat skala nonius atau skala vernier. Skala nonius ini panjangnya 9 mm yang terbagi menjadi 10 skala dengan tingkat ketelitian 0,1 mm.





Gambar 3. 20 Jangka Sorong

### 3.2.6 Stopwatch

Stopwatch adalah alat untuk mengukur waktu dalam satuan sekon. Pada penelitian ini stopwatch digunakan sebagai timer ketika HEMSA diberikan eksitasi selama waktu tertentu. Baik dalam pengujian nilai C, energy bangkitan maupun respon massa.

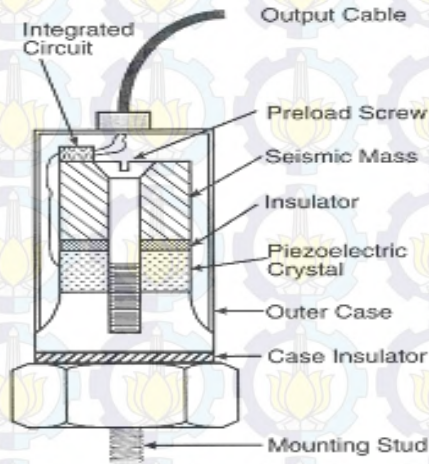


Gambar 3. 21 Stopwatch

### 3.2.7 Akselerometer

Akselerometer adalah sebuah transduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Akselerometer juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin, dan juga bisa

digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi, getaran mesin, jarak yang dinamis, dan kecepatan dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi bumi.



Gambar 3. 22 Akselerometer.

### 3.2.8 Multimeter

Multimeter adalah alat pengukur listrik yang sering dikenal sebagai AVO-meter (Ampere/Volt/Ohm meter) yang dapat mengukur tegangan (voltmeter), hambatan (ohm-meter), maupun arus (ampere-meter).



Gambar 3. 23 Multimeter

### 3.3 Pengolahan Data Hasil Pengujian

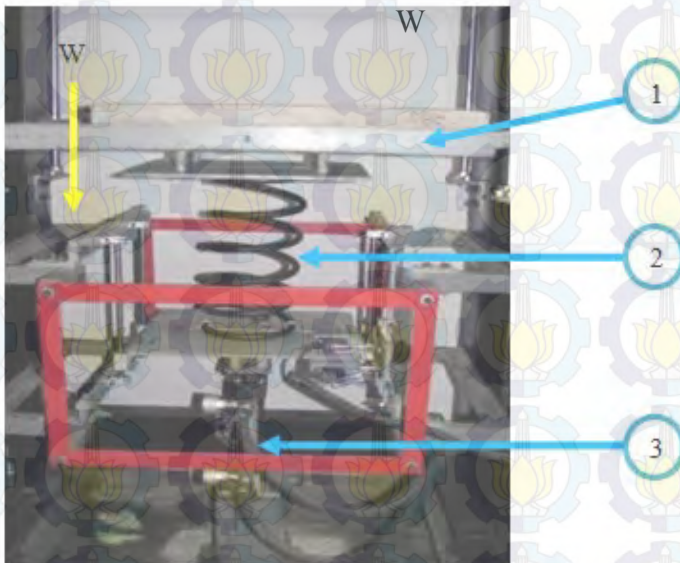
Data yang diperoleh dari hasil pengujian akan diolah sehingga hasil pengujian akan dapat ditunjukkan dalam grafik gaya redaman fungsi kecepatan, grafik gaya redaman fungsi perpindahan, dan grafik respon massa terhadap eksitasi yang diberikan.

## BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISA DATA

### 1.1. Penentuan Konstanta Pegas

#### 4.1.1 . Prinsip Kerja

Pada proses pengambilan data nilai konstanta pegas dilakukan di lab sistem dinamis dan vibrasi. Metode pengambilan data nilai konstanta pegas dengan memasang pegas pada alat test rig lalu diberikan gaya berupa beban dimana jumlah beban di variasikan. Dilakukan pengukuran terhadap perubahan panjang yang terjadi pada pegas yang telah terpasang pada test rig setelah diberikan beban.



Gambar 4. 1. Gambar pengujian konstanta pegas (  $k$  )

keterangan :

1. Holder



2. Spring
3. Suspension Test Rig

#### 4.1.2 . Hasil Pengujian Nilai Konstanta Pegas ( k )

Pengujian nilai konstanta pegas bertujuan untuk mengetahui nilai dari konstanta pegas yang dipakai pada HEMSA. Pengujian menggunakan  $\frac{1}{4}$  massa kendaraan yaitu 250 kg. Untuk dapat menentukan nilai konstanta pegas dilakukan perhitungan dengan menggunakan data yang telah diambil pada tabel.

Tabel 4. 1 Tabel pengujian nilai konstanta pegas

No.	Massa(kg)	W(N)	$\Delta W(N)$	X(m)	$\Delta X(m)$	K(N/m)
1	0	0	0	0.31	0	0
2	217.9	-2137.6	-2137.6	0.260	-0.05	42752
3	227.9	-2235.7	-98.1	0.258	-0.052	42994
4	237.9	-2333.8	-98.1	0.257	-0.053	44034
5	247.9	-2431.9	-98.1	0.255	-0.055	44216
6	257.9	-2530.0	-98.1	0.253	-0.057	44386
7	267.9	-2628.1	-98.1	0.251	-0.059	44544
8	277.9	-2726.2	-98.1	0.250	-0.06	45437
9	277.9	2726.2	0.0	0.250	0.060	45437
10	267.9	2628.1	98.1	0.251	0.059	44544
11	257.9	2530.0	98.1	0.252	0.058	43621
12	247.9	2431.9	98.1	0.255	0.055	44216
13	237.9	2333.8	98.1	0.258	0.052	44881
14	227.9	2235.7	98.1	0.260	0.050	44714
15	217.9	2137.6	98.1	0.262	0.048	44533
16	0	0	0	0.31	0	0
RATA-RATA						44308
K Pegas						44357,5

Lalu dengan menggunakan rumus pada Hukum Hooke :

$$F = k \cdot \Delta X \quad \text{atau} \quad \Delta W = k \cdot \Delta X$$

Dapat diketahui nilai konstanta dari pegas yang digunakan. Berikut ialah contoh perhitungan mencari nilai konstanta pegas dengan menggunakan data pada tabel :

Perubahan Gaya Beban

$$F = \Delta W$$

$$W_1 - W_2 = (28.2 \times 9.81) \text{ N} - 0 = 279.09 \text{ N}$$

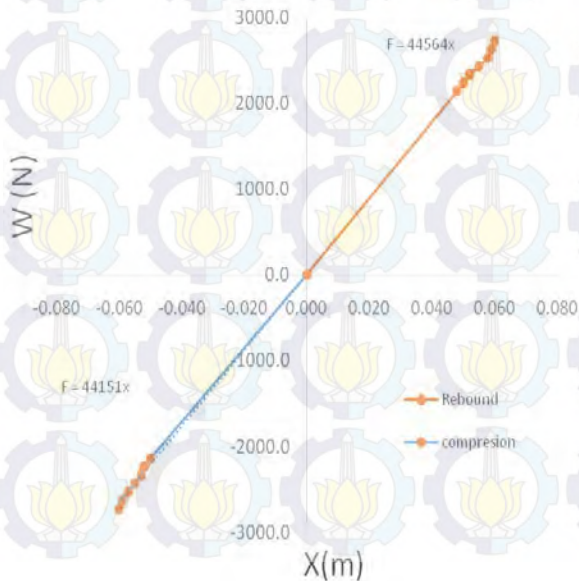
Perubahan Panjang Pegas

$$\Delta X \quad X_2 - X_1 = [(392-382)/1000] \text{ m} - 0 = 0.01 \text{ m}$$

Jadi,

$$k = \frac{\Delta W}{\Delta X} = \frac{279.09}{0.01} = 27909.45 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Dari Tabel 4.1. dapat kita buat grafik hubungan antara perubahan panjang ( X ) dengan perubahan beban pada pegas yang diuji.



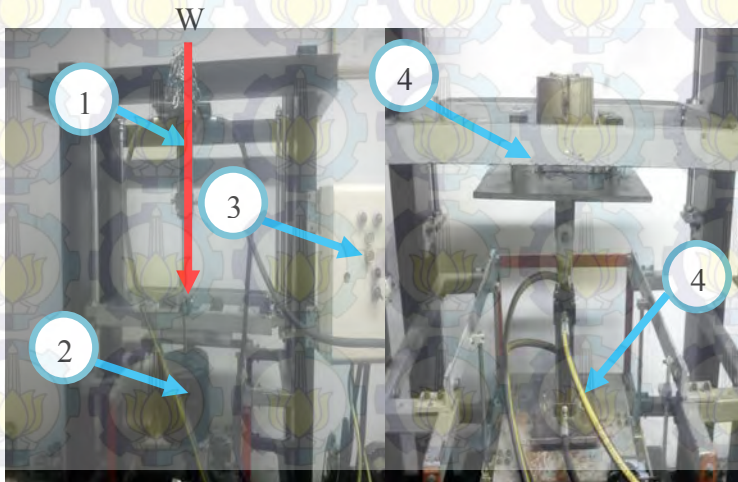
Gambar 4. 2 Grafik konstanta pegas

Dari grafik 4.2 di dapatkan fungsi untuk kompresi spring ialah  $44151.x$  dan untuk fungsi pada saat kondisi rebound ialah  $44564.x$ .

Dari grafik dan tabel tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin tinggi beban yang digunakan maka semakin tinggi pula perubahan panjang yang dihasilkan pada pegas tersebut. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat grafik pada gambar 4.2 bahwasanya garis hampir terlihat lurus atau mendekati linier. Hal ini sesuai dengan hukum Hooke dimana  $F = k \Delta x$ , semakin besar gaya yang terjadi maka semakin besar juga nilai dari displacement.

### 1.2. Perhitungan Nilai Redaman

Untuk mengetahui nilai redaman dari HEMSA, maka dilakukan pengujian nilai redaman yang dilakukan di *Laboratorium Sistem Dinamis dan Getaran Teknik Mesin Institut Teknologi 10 Nopember*. Mekanisme pengujian dapat dilihat pada gamb



Gambar 4. 3 Mekanisme pengujian nilai redaman kompresi dan rebound pada suspension test rig.

Keterangan :

1. Absorber
2. Beban
3. Panel Suspension Test Rig
4. Holder Suspension Test Rig
5. Selang HEMSA

#### **4.2.1 . Pengujian Nilai Redaman HEMSA Tanpa Menggunakan Beban.**

Pengujian nilai redaman tanpa menggunakan beban dilakukan saat kondisi alat tidak terpasang dengan akumulator sehingga tidak terjadi proses charging pada akumulator.

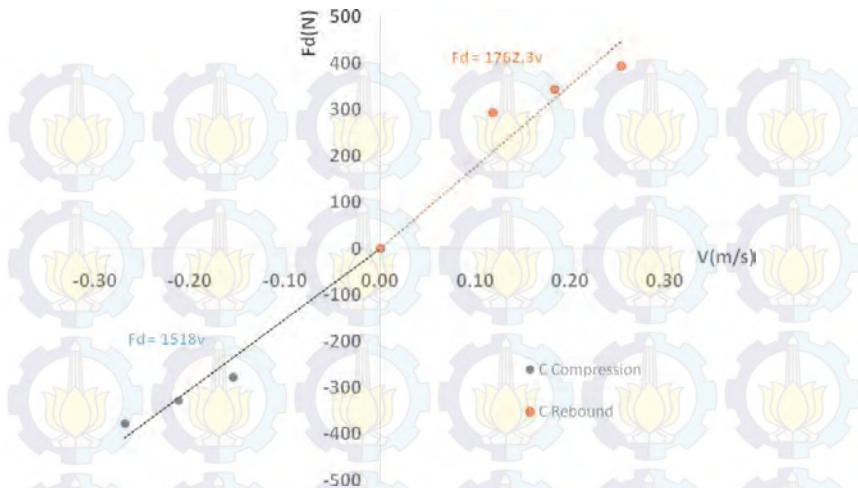
##### **4.2.1.1 Nilai Redaman Viscous.**

Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboraturium Sistem dinamis dan getaran didapat data sebagai berikut :

Tabel 4. 2 tabel pengujian nilai redaman kompresi viscous tanpa akumulator.







Gambar 4. 4 Grafik nilai redaman viscous

Dari gambar 4.5 ialah grafik nilai redaman viscous tanpa menggunakan akumulator. Dengan nilai trendline compresi sebesar 1518 Ns/m dan nilai trendline rebound sebesar 1762.3 Ns/m. Didasarkan pada persamaan  $F_d = C \cdot v$  dengan nilai  $F$  ialah massa  $\frac{1}{4}$  kendaraan dikalikan gravitasi didapatkan nilai  $c$ . hal ini telah sesuai dimana semakin besarnya massa yang diberikan, maka akan membuat nilai  $v$  juga akan bertambah dan akan membuat nilai dari  $c$  semakin besar.

#### 4.2.1.2 Nilai Redaman Viscous dan Mechanic.

Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboraturium Sitesm dinamis dan getaran didapat data sebagai berikut :

Tabel 4. 4 tabel pengujian nilai redaman kompresi viscous + mekanik tanpa akumulator

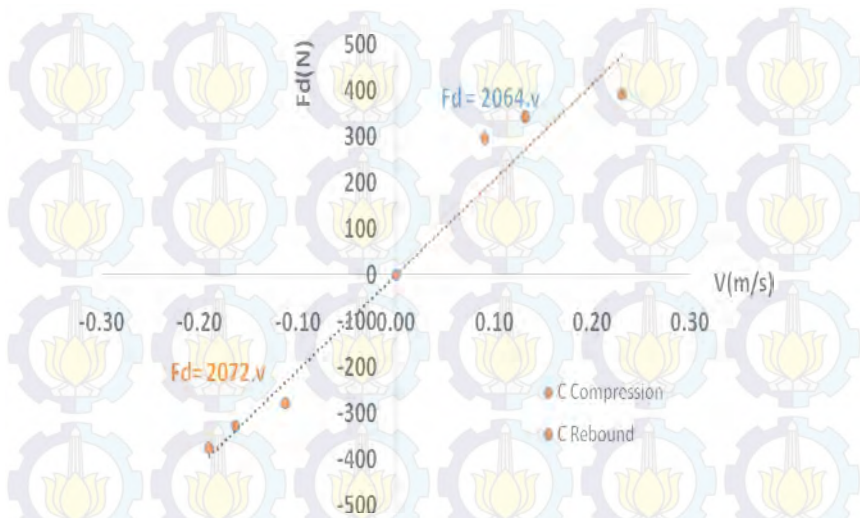
### UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS dan MEKANIK

Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	0.93	0.1	0.10753	0.11223	2595.57885	2502.55
0	28.45	279.095	0.96	0.1	0.10417		2679.3072	
0	28.45	279.095	0.8	0.1	0.12500		2232.756	
5	33.45	328.145	0.62	0.1	0.16129	0.16396	2034.4959	2001.68
5	33.45	328.145	0.6	0.1	0.16667		1968.867	
5	33.45	328.145	0.61	0.1	0.16393		2001.68145	
10	38.45	377.195	0.49	0.1	0.20408	0.19038	1848.25305	2011.70
10	38.45	377.195	0.48	0.1	0.20833		1810.5336	
10	38.45	377.195	0.63	0.1	0.15873		2376.32535	
								2171.98

Tabel 4. 5 tabel pengujian nilai redaman rebound viscous + mekanik tanpa akumulator

### UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS dan MEKANIK

Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
30	30	294.300	1.11	0.1	0.09009	0.08988	3266.73	3276.54
30	30	294.300	1.15	0.1	0.08696		3384.45	
30	30	294.300	1.08	0.1	0.09259		3178.44	
35	35	343.350	0.87	0.1	0.11494	0.13136	2987.145	2643.80
35	35	343.350	0.77	0.1	0.12987		2643.795	
35	35	343.350	0.67	0.1	0.14925		2300.445	
40	40	392.400	0.51	0.1	0.19608	0.23047	2001.24	1778.88
40	40	392.400	0.52	0.1	0.19231		2040.48	
40	40	392.400	0.33	0.1	0.30303		1294.92	



Gambar 4. 5 Gambar grafik nilai redaman viscous + mekanik

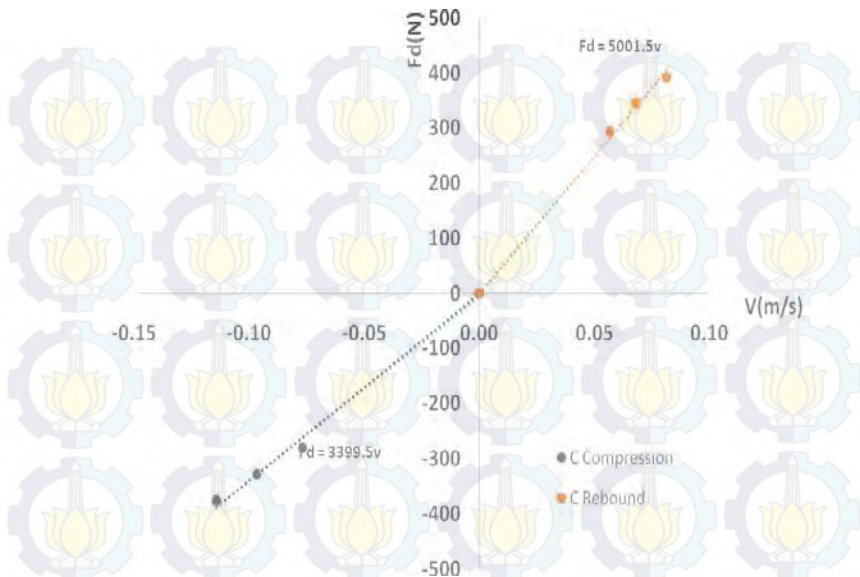
Dari gambar 4.6 ialah grafik nilai redaman viscous + mekanik tanpa menggunakan akumulator. Dengan nilai trendline compresi sebesar 2072 Ns/m dan nilai trendline rebound sebesar 2064 Ns/m. Berdasarkan pada persamaan  $F_d = C \cdot v$  dan  $f_s = \mu_k N$ . dengan nilai  $F$  ialah massa  $\frac{1}{4}$  kendaraan dikalikan gravitasi didapatkan nilai  $c$ . penambahan  $\mu_k$  akan mempengaruhi nilai redaman dari system. hal ini telah sesuai dimana semakin besarnya massa yang diberikan, maka akan membuat nilai  $v$  juga akan bertambah dan akan membuat nilai dari  $c$  semakin besar dan nilai redaman viscous mekanik akan lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman viscous dikarenakan adanya pengaruh dari  $\mu_k$ .

#### 4.2.1.3 Nilai Redaman Total Tanpa Beban.

Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboraturium Sitesm dinamis dan getaran didapat data sebagai berikut :



[illegible]



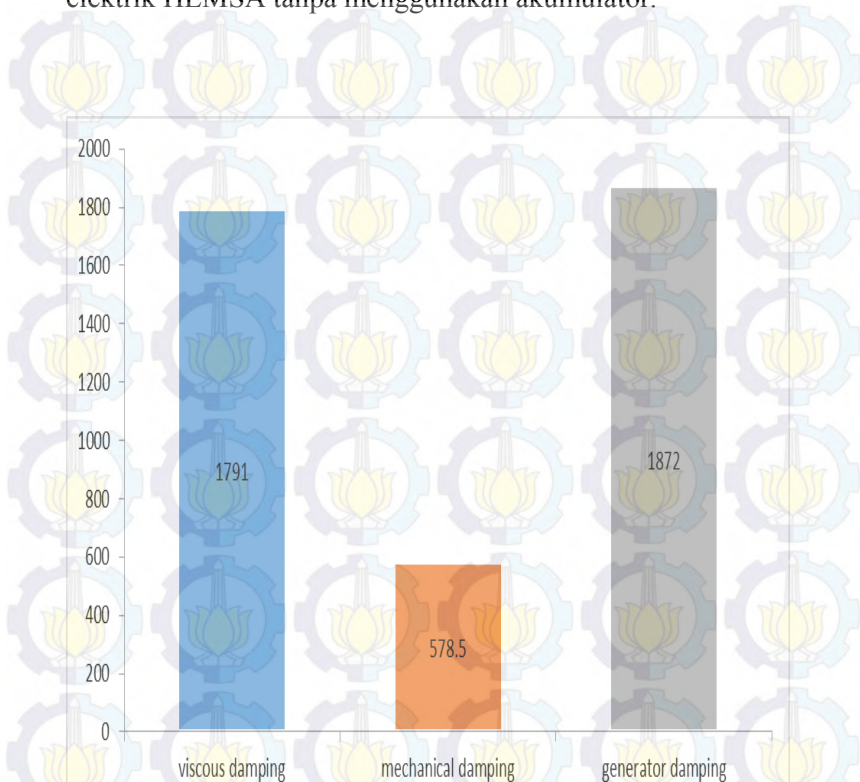
Gambar 4. 6 Grafik nilai redaman total tanpa akumulator

Dari gambar 4.4 ialah grafik nilai redaman total tanpa menggunakan akumulator. Dengan nilai trendline compresi sebesar 3399.5 Ns/m dan nilai trendline rebound sebesar 5001.5 Ns/m. Didasarkan pada persamaan  $F_d = C \cdot v$ ,  $f_s = \mu_k N$  dan  $T_e = 2BLIRN$  dengan nilai  $F$  ialah massa  $\frac{1}{4}$  kendaraan dikalikan gravitasi didapatkan nilai  $c$ . Penambahan  $\mu_k$  dan  $T_e$  akan mempengaruhi nilai redaman dari system. hal ini telah sesuai dimana semakin besarnya massa yang diberikan, maka akan membuat nilai  $v$  juga akan bertambah dan akan membuat nilai dari  $c$  semakin besar dan nilai redaman total akan lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman viscous mekanik dikarenakan adanya pengaruh dari  $\mu_k$  dan  $T_e$ .

#### 4.2.1.4 Distribusi Nilai Redaman Total tanpa Akumulator.

Berdasarkan data yang telah diperoleh melalui hasil pengujian pada laboratorium system dinamis dan getaran.

Berikut ialah distribusi nilai redaman viscous, mekanik dan elektrik HEMSA tanpa menggunakan akumulator.



Gambar 4. 7. Distribusi nilai redaman komponen HEMSA tanpa akumulator

Berdasarkan hasil yang didapat pada gambar 4.7, distribusi electric damping ialah paling besar, sehingga nilai redaman elektrik ialah paling besar dibandingkan dengan nilai redaman viscous dan mekanik.

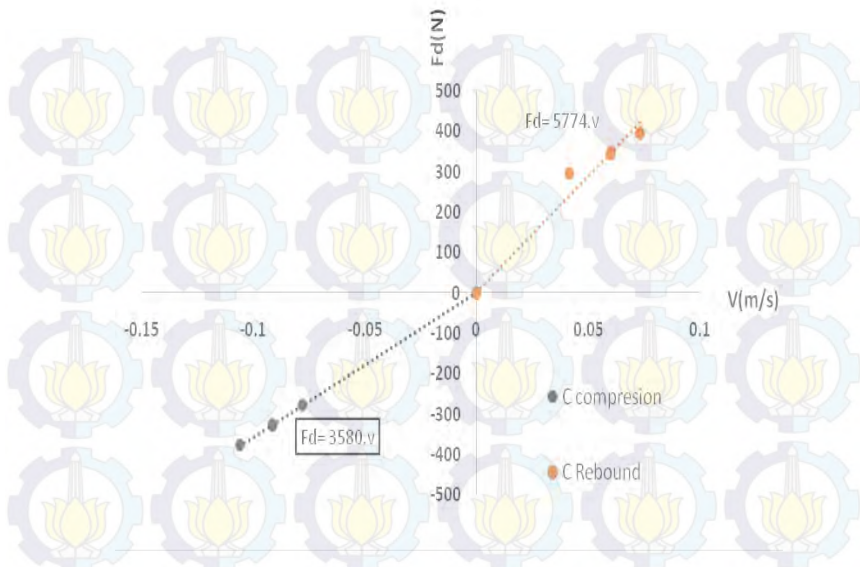
[illegible]



Tabel 4. 9 tabel pengujian nilai redaman total rebound pada saat akumulator terisi 100 %

UJI KONSTANTA REDAMAN DENGAN AKUMULATOR 100% CHARGED								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
30	30	294.300	2.2	0.1	0.04545	0.04158	6474.6	7112.25
30	30	294.300	2.6	0.1	0.03846		7651.8	
30	30	294.300	2.45	0.1	0.04082		7210.35	
35	35	343.350	1.62	0.1	0.06173	0.06001	5562.27	5733.95
35	35	343.350	1.61	0.1	0.06211		5527.935	
35	35	343.350	1.78	0.1	0.05618		6111.63	
40	40	392.400	1.42	0.1	0.07042	0.07287	5572.08	5388.96
40	40	392.400	1.37	0.1	0.07299		5375.88	
40	40	392.400	1.33	0.1	0.07519		5218.92	
								6078

Dari data yang telah diperoleh maka grafik fungsi gaya redaman  $F_d$  berbanding kecepatan  $v$  dapat dilihat pada gambar



Gambar 4. 8. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 100 %

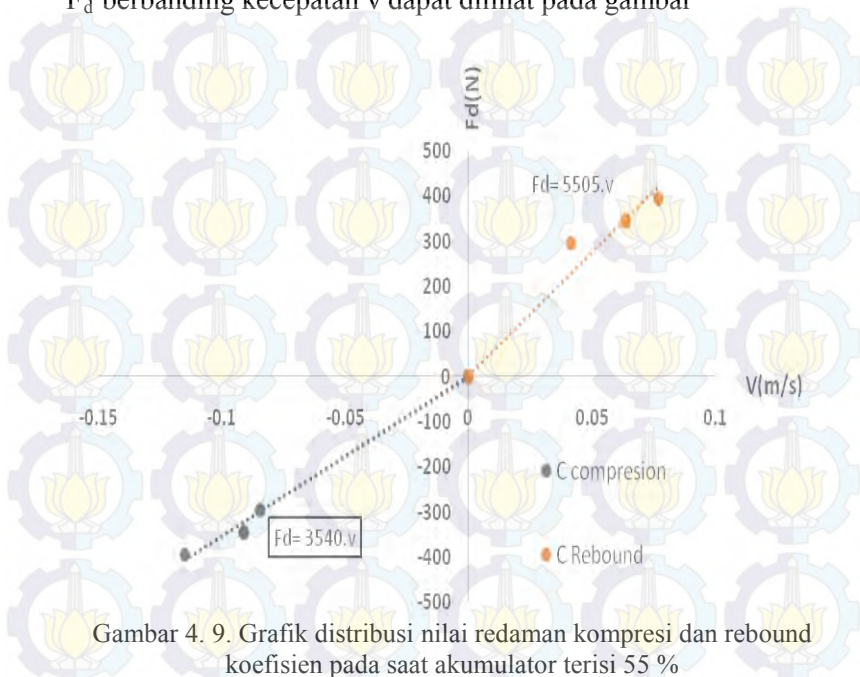
Dari grafik 4.8. didapatkan distribusi nilai redaman pada saat akumulator terisi 100 %. Trenline redaman untuk kompresi sebesar 3580 Ns/m sedangkan trendline untuk nilai redaman rebound ialah sebesar 5774 Ns/m. Dapat disimpulkan bahwa nilai redaman rebound lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman kompresi.

#### 4.2.2.2 . Pengujian Nilai Redaman pada saat Akumulator Terisi 55 %.

Berdasarkan data yang telah diperoleh melalui hasil pengujian pada laboratorium system dinamis dan getaran. Berikut ialah data nilai redaman dengan menggunakan akumulator terisi 55



Dari data yang telah diperoleh maka grafik fungsi gaya redaman  $F_d$  berbanding kecepatan  $v$  dapat dilihat pada gambar



Gambar 4. 9. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 55 %

Dari grafik 4.9. didapatkan distribusi nilai redaman untuk beban akumulator terisi setengah atau 55 % charged. Rata – rata nilai redaman untuk kompresi sebesar 3565 Ns/m, sedangkan untuk nilai redaman rebound ialah sebesar 5873 N s/m. Dapat disimpulkan bahwa nilai redaman rebound lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman kompresi.

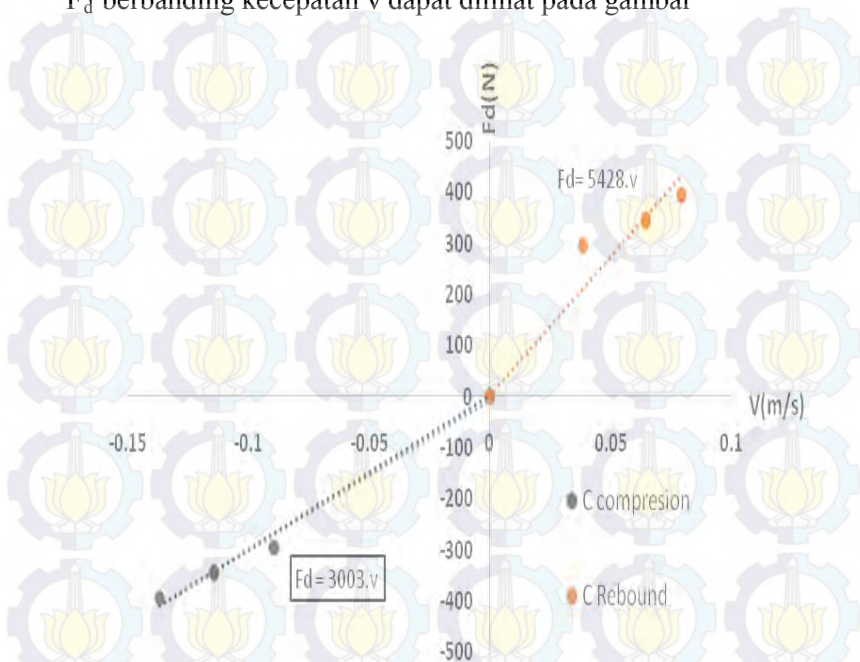
#### 4.2.2.3 Pengujian Nilai Redaman pada saat Akumulator kosong ( 0 % charged ).

Berdasarkan data yang telah diperoleh melalui hasil pengujian pada laboratorium system dinamis dan getaran.





Dari data yang telah diperoleh maka grafik fungsi gaya redaman  $F_d$  berbanding kecepatan  $v$  dapat dilihat pada gambar



Gambar 4. 10. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 0 %.

Dari grafik 4.10. didapatkan distribusi nilai redaman pada saat akumulator kosong atau 0 % charged. Trendline nilai redaman untuk kompresi sebesar 3003 Ns/m sedangkan trendline nilai redaman rebound ialah sebesar 5428 Ns/m. Dapat disimpulkan bahwa nilai redaman rebound lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman kompresi.

#### 4.2.2.4 Distribusi Nilai Redaman dengan Menggunakan Akumulator.

Berdasarkan data yang telah diperoleh melalui hasil pengujian pada laboratorium System Dinamis dan Getaran.

Berikut ialah distribusi nilai redaman viscous, viscous mekanik dan elektrik HEMSA dengan menggunakan akumulator.

Tabel 4. 14 Tabel nilai redaman HEMSA dengan menggunakan akumulator terisi 0 %  
accu 0%

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	C(N.s/m)
Viscous damping	1987	1594.94	1790.97
Viscous+Friction damping	2566	2171.98	2368.99
Friction damping	579	577.04	578.02
Electric damping	3443	893.02	2168.01
Total damping coefficient accu0% charged	6009	3065	4537

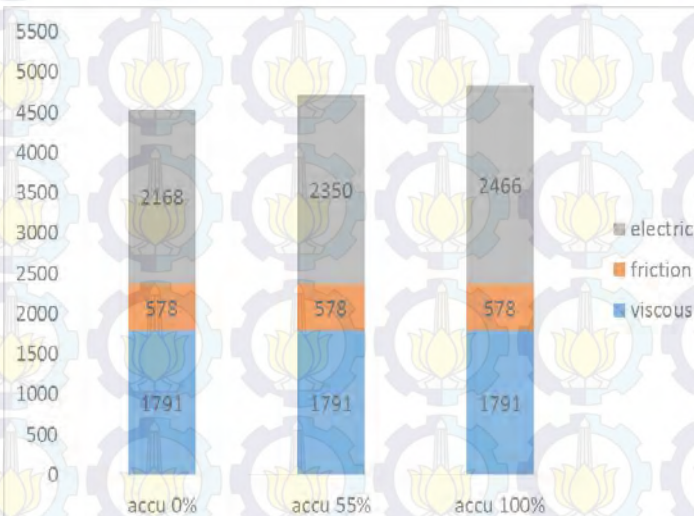
Tabel 4. 15 Tabel nilai redaman HEMSA dengan menggunakan akumulator terisi 55 %  
accu 55%

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1987	1594.94	1790.97
Viscous+Friction damping	2566	2171.98	2368.99
Friction damping	579	577.04	578.02
Electric damping	3307	1393.02	2350.01
Total damping coefficient accu55% charged	5873	3565	4719

Tabel 4. 16 Tabel nilai redaman HEMSA dengan menggunakan akumulator terisi 100 %

accu 100%

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1987	1594.94	1790.97
Viscous+Friction damping	2566	2171.98	2368.99
Friction damping	579	577.04	578.02
Electric damping	3512	1419.03	2465.515
Total damping coefficient accu 100% charged	6078	3591.01	4834.505



Gambar 4. 11 Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 0 %.

Gambar 4.11 ialah diagram batang yang nilai redaman HEMS dengan menggunakan akumulator 100 % terisi, 55 % terisi dan 0 %. Pada gambar 4.11 nilai electrical damping meningkat seiring

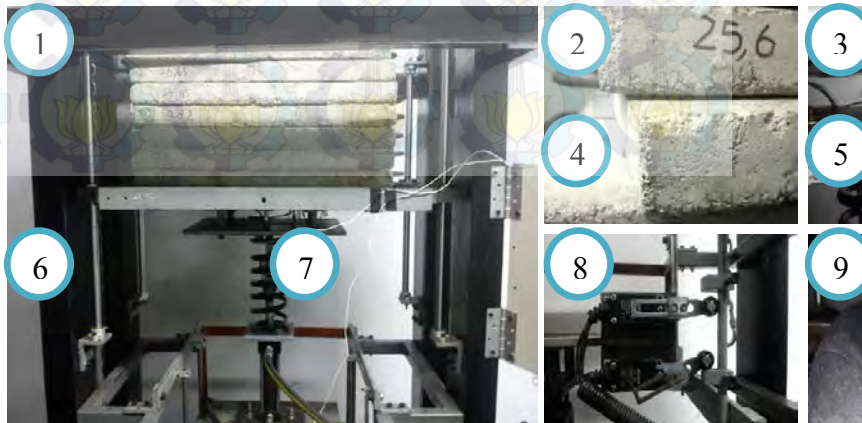


dengan bertambahnya kondisi dari akumulator namun nilai dari friction dan viscous damping tetap.

Dengan menggunakan persamaan torsi electric  $T_e = 2BLIRN$ , dimana  $T_e$  merupakan Torsi electric dari generator (Alternator) maka hasil pengujian sesuai dengan teori. Variasi dari kondisi akumulator berpengaruh pada torsi electric yang terjadi pada generator. Semakin besar Arus (I) semakin besar pula nilai Torsi, yang mana diperlukan untuk memutar generator. Sehingga ini berdampak pada konstanta redaman pada generator (*electric damping*). Artinya semakin terisi akumulator, nilai konstanta redaman generator (*electric damping*) semakin meningkat.

### 1.3. Pengujian Mekanisme HEMSA

Pada tahap ini, pengujian mekanisme di lakukan di laboratorium *Sistem Dinamis dan Getaran Mesin ITS*, tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui respon massa dan energy bangkitan dari HEMSA ketika dikenai eksitasi berupa impuls dan periodik. Mekanisme yang digunakan adalah  $\frac{1}{4}$  dari kendaraan mobil dengan massa 250 kg. Pada sistem kali ini beton digambarkan sebagai sprung mass yaitu massa pada kendaraan, sedangkan pada plat bawah digunakan sebagai unsprung mass yaitu roda kendaraan.



Gambar 4. 12. Mekanisme pengujian HEMSA pada suspension test rig.

Adapun peralatan yang digunakan pada saat pengambilan data ini ialah sebagai berikut :

1. Suspension test rig
2. Massa uji ( 250 kg) Oscilloscope elektronik P 220 200 MHz 1X/10X
3. Accelerometer
4. Limit Sensor Massa uji berupa beton ( 250 kg )
5. Accelerometer base Regenerative shock absorber
6. Aktuator
7. Mekanisme gear box
8. Akumulator 12 V kondisi terisi penuh, 55 % terisi dan kosong.
9. Flash disk 1 MB

Untuk pengujian mekanisme HEMSA diawali dengan pemasangan mekanisme HEMSA pada Suspension Test Rig. Beban berupa beton kemudian diletakan pada Suspension Test

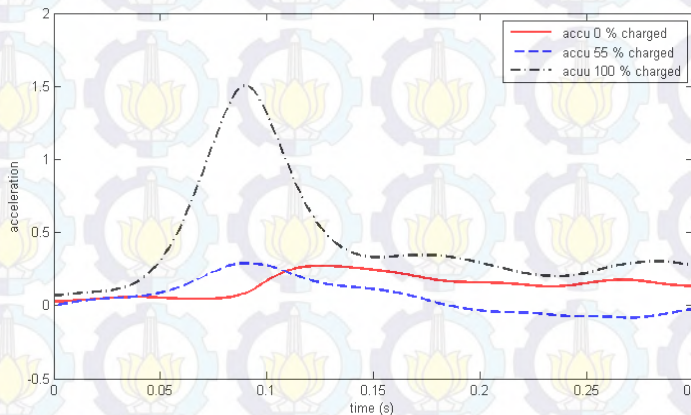
Rig seberat 250 kg. Setting nilai frekuensi pada suspension test rig dengan variasi nilai frekuensi sebesar 1,4 Hz, 1,7 Hz dan 2 Hz.

#### 4.3.1. Pengujian Respon Massa pada HEMSA dengan Eksitasi Impuls dan Periodik Menggunakan Akumulator.

##### 4.3.1.1. Eksitasi Impuls

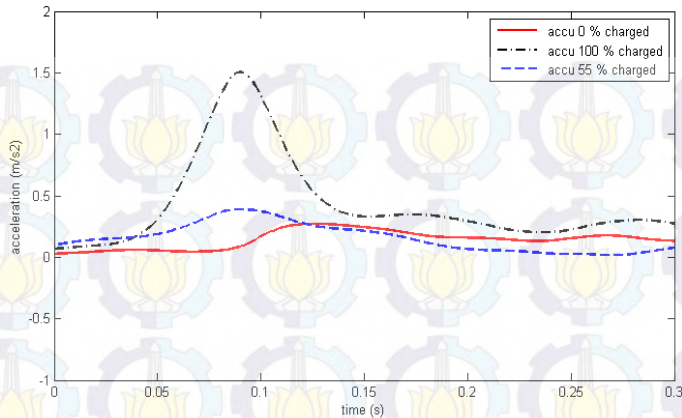
##### a. impuls frekuensi 1,4 Hz

Berikut ialah grafik input base dan sprung untuk accelerasi versus waktu dengan frekuensi 1.4 Hz pada akumulator 100 % charged, 55 % charged dan 0 % charged.



Gambar 4. 13. Grafik hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator.





Gambar 4. 14. Hasil pengujian eksitasi impuls pada HEMSA dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator.

Dari hasil pengujian didapatkan pada grafik 4.15. ialah hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1.4 Hz. Dari gambar 4.15. didapatkan nilai peak untuk akumulator 100 % charged ialah  $1.26 \text{ m/s}^2$ , untuk akumulator 55 % charged nilai peak  $1.03 \text{ m/s}^2$  dan untuk akumulator 0 % charged nilai peak ialah  $0.66 \text{ m/s}^2$ .

Grafik pada gambar 4.16. dengan eksitasi sebesar 1,4 Hz impuls. Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai peak yang dihasilkan HEMSA dengan akumulator 0 % charged ialah paling rendah sebesar  $0.243 \text{ m/s}^2$  dan yang paling tinggi nilai peak yang dihasilkan oleh HEMSA dengan akumulator 100 % charged sebesar  $1.503 \text{ m/s}^2$ . Dari hasil gambar 4.13. dapat dilihat untuk akumulator 0 % charged pada detik ke - 0.25 sudah mengalami kondisi stabil, untuk akumulator 55 % charged mengalami keadaan stabil ketika detik ke - 0.25 dan untuk kondisi akumulator 100 % charged mengalami kondisi stabil ketika detik ke - 0.25.

Damping ratio HEMSA pada saat akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.68, 0.71, dan 0.73. Secara teori semakin tinggi nilai damping ratio, mendekati 1, semakin

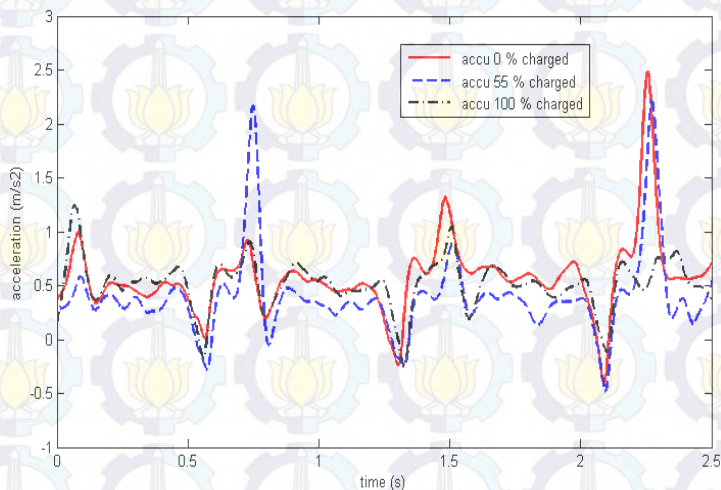


cepat waktu sistem suspensi untuk stabil. Dari hasil pengujian eksitasi Impuls menunjukkan kesesuaian dengan teori.

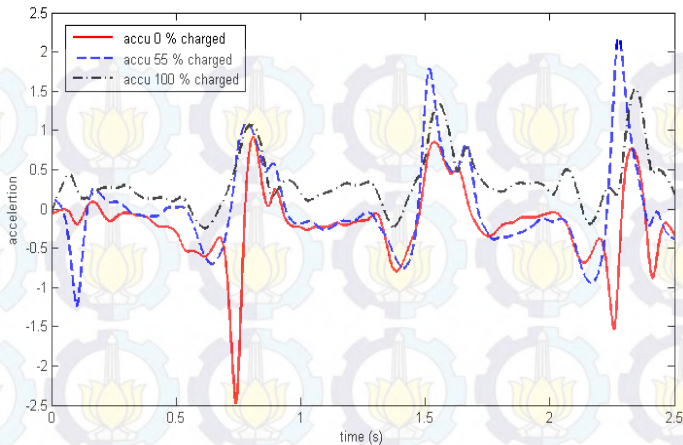
#### 4.3.1.2. Eksitasi Periodik

##### a. periodik frekuensi 1,4 Hz

Berikut ialah grafik input base dan sprung untuk accelerasi versus waktu dengan frekuensi 1.4 Hz pada akumulator 100 % charged, 55 % charged dan 0 % charged.



Gambar 4. 15. Grafik hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator.



Gambar 4. 16. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 1,4 Hz dengan akumulator

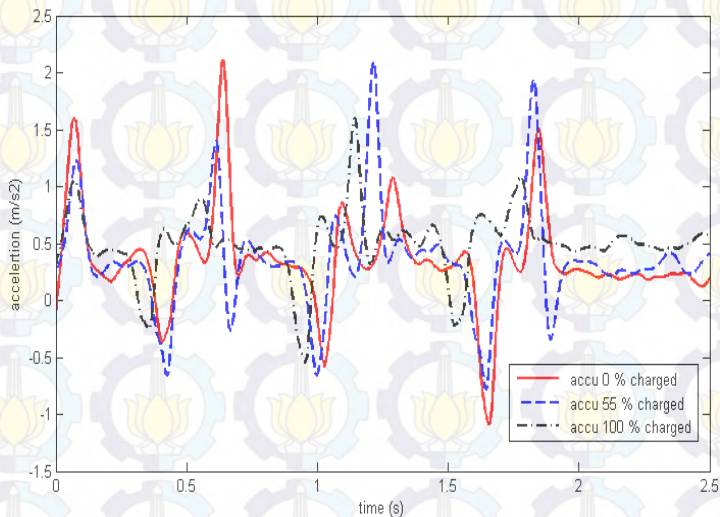
Dari hasil pengujian didapatkan pada grafik 4.15. ialah hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1,4 H z. Dari gambar 4.15 Didapatkan nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $1.51 \text{ m/s}^2$ , untuk akumulator 55 % charged nilai RMS ialah  $2.00 \text{ m/s}^2$  dan untuk akumulator 0 % charged nilai RMS ialah  $1.83 \text{ m/s}^2$ .

Grafik pada gambar 4.16. dengan eksitasi sebesar 1,4 H z periodik. Dari grafik 4.16. nilai RMS untuk akumulator 100 % charged sebesar  $0.8 \text{ m/s}^2$ , akumulator 55 % charged sebesar  $1.26 \text{ m/s}^2$  dan akumulator 0 % charged sebesar  $1.8 \text{ m/s}^2$ . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA dengan beban akumulator 100 % dan yang paling rendah nilai percepatannya dihasilkan oleh HEMSA dengan pembebanan akumulator kosong atau 0 %. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA dengan pembebanan akumulator 100 % paling jelek dan yang paling baik ialah HEMSA dengan pembebanan akumulator kosong atau 0 %.

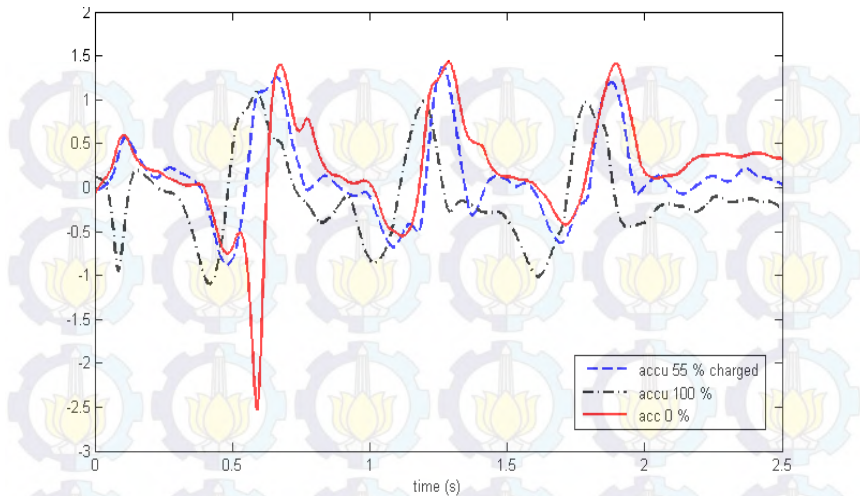
Hal ini belum sesuai dikarenakan semakin terisi kondisi akumulator, maka nilai redaman akan semakin besar. Sehingga akan berpengaruh terhadap nilai RMS yang dihasilkan. Nilai RMS yang dihasilkan untuk akumulator 0 % akan berada paling atas selanjutnya pada kondisi akumulator 55 % dan yang paling bawah 100 %. Terjadinya perbedaan antara teori dan hasil yang disebabkan gangguan yang terjadi dari luar, noise yang besar.

**b. periodik frekuensi 1,7 Hz**

Berikut ialah grafik input base dan sprung untuk accelerasi versus waktu dengan frekuensi 1.7 H z akumulator 100 % charged, 55 % charged dan 0 % charged.



Gambar 4. 17. Grafik hasil eksitasi input base frekuensi 1,7 Hz dengan akumulator.



Gambar 4. 18. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 1,7 Hz dengan akumulator

Dari hasil pengujian didapatkan pada grafik 4.17. ialah hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1.7 Hz. Dari gambar 4.17. didapatkan nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $1.88 \text{ m/s}^2$ , untuk akumulator 55 % nilai RMS ialah  $2.24 \text{ m/s}^2$  dan untuk akumulator 0 % charged nilai RMS ialah  $1.9 \text{ m/s}^2$ .

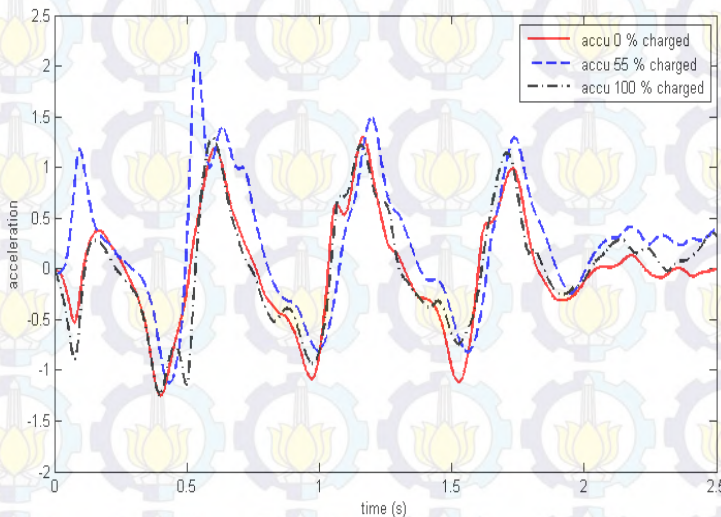
Grafik pada gambar 4.18 dengan eksitasi sebesar 1,7 Hz periodik. Dari grafik 4.18. nilai RMS akumulator 100 % charged sebesar  $0.9 \text{ m/s}^2$ , akumulator 55 % charged sebesar  $0.88 \text{ m/s}^2$  dan akumulator 0 % charged sebesar  $1.45 \text{ m/s}^2$ . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA dengan beban akumulator 0 % dan yang paling rendah nilai percepatannya dihasilkan oleh HEMSA dengan akumulator kosong atau 100 %. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA dengan akumulator 0 % charged paling jelek dan yang paling baik ialah HEMSA dengan akumulator kosong atau 100 % charged.



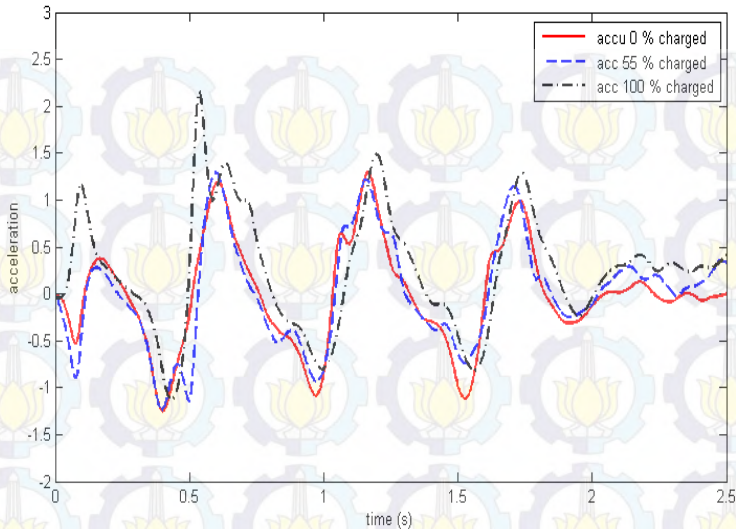
Hal ini sudah sesuai dikarenakan semakin terisi kondisi akumulator, maka nilai redaman akan semakin besar. Sehingga akan berpengaruh terhadap nilai RMS yang dihasilkan. Nilai RMS yang dihasilkan untuk akumulator 0 % akan berada paling atas selanjutnya pada kondisi akumulator 55 % dan yang paling bawah 100 %.

#### **b.periodik frekuensi 2 Hz**

Berikut ialah grafik input base dan sprung untuk accelerasi versus waktu dengan frekuensi 2 Hz pada akumulator 100 % charged, 55 % charged dan 0 % charged.



Gambar 4. 19. Grafik hasil eksitasi input base frekuensi 2 Hz dengan akumulator.



Gambar 4. 20. Hasil pengujian eksitasi periodic pada HEMSA frekuensi 2 Hz dengan akumulator

Dari hasil pengujian didapatkan pada grafik 4.19. ialah hasil eksitasi input base dengan frekuensi 2 Hz. Dari gambar 4.19. didapatkan nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $0.96 \text{ m/s}^2$ , untuk akumulator 55 % charged nilai RMS ialah  $1.046 \text{ m/s}^2$  dan untuk akumulator 0 % charged nilai RMS ialah  $0.725 \text{ m/s}^2$ .

Grafik pada gambar 4.20. dengan eksitasi sebesar 2 Hz periodik. Dari garfik 4.20. nilai RMS akumulator 100 % charged sebesar  $0.97 \text{ m/s}^2$ , akumulator 55 % charged sebesar  $1.05 \text{ m/s}^2$  dan akumulator 0 % charged sebesar  $0.7 \text{ m/s}^2$ . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat akumulator 55 % charged ialah yang paling besar dan yang paling rendah nilai percepatannya dihasilkan oleh HEMSA dengan akumulator kosong atau 100 % charged. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA

dengan akumulator 55 % charged paling jelek dan yang paling baik ialah HEMSA dengan akumulator kosong atau 100 % charged.

Hal ini belum sesuai dikarenakan semakin terisi kondisi akumulator, maka nilai redaman akan semakin besar. Sehingga akan berpengaruh terhadap nilai RMS yang dihasilkan. Nilai RMS yang dihasilkan untuk akumulator 0 % akan berada paling atas selanjutnya pada kondisi akumulator 55 % dan yang paling bawah 100 %. Terjadinya perbedaan antara teori dan hasil yang disebabkan gangguan yang terjadi dari luar, noise yang besar.

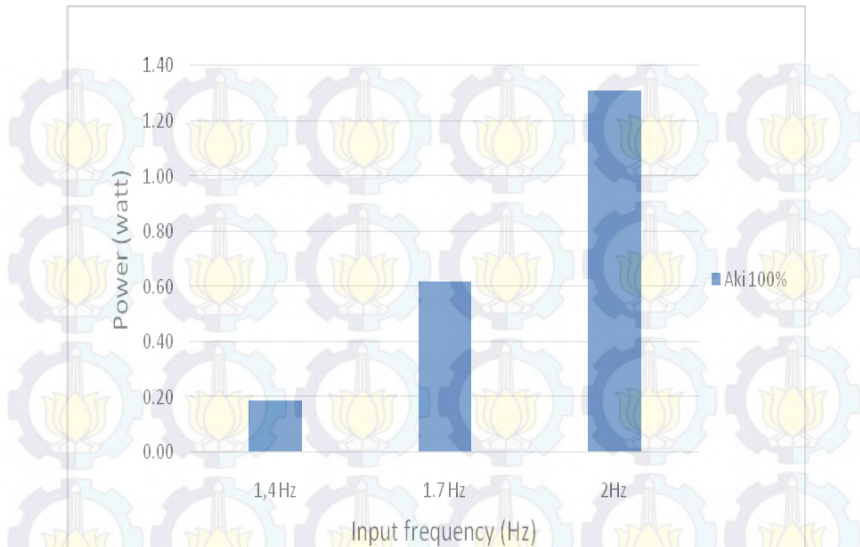
#### **4.3.2. Pengujian Energi Bangkitan pada HEMSA dengan Eksitasi Impuls dan Periodik**

##### **4.3.2.1. Eksitasi Periodik**

Berikut ialah tabel energy bangkitan pada akumulator terisi 100 % eksitasi periodic :

Tabel 4. 17 tabel energy bangkitan pada saat akumulator terisi 100 % eksitasi periodic

Frekuensi Eksitasi	Beban akumulator	V(VOLT)	V 10 x	I (AMPERE)	Daya(Watt)
1,4 Hz(Harmonik)	100 % charged	0.1350	1.3500	0.1400	0.19
1,7 Hz(Harmonik)	100 % charged	0.2710	2.7100	0.2300	0.62
2 Hz(Harmonik)	100 % charged	0.3730	3.7300	0.3500	1.31
1,4(impuls)	100 % charged	0.3260	3.2600	0.1100	0.36



Gambar 4. 21. Diagram batang energi bangkitan eksitasi periodik 1.4Hz, 1.7Hz, 2Hz pada saat akumulator terisi 100 %.

Gambar 4.21 ialah gambar diagram batang energi bangkitan pada akumulator 100 % charged dengan eksitasi sebesar 1.4Hz, 1.7Hz, 2Hz. Dari gambar 4.21. nilai energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA dengan frekuensi sebesar 1.4Hz ialah sebesar 0.19 watt, lalu energi bangkitan yang dihasilkan ketika frekuensi sebesar 1.7Hz ialah 0.62 watt, dan yang dihasilkan HEMSA dengan frekuensi sebesar 2 Hz ialah 1.31watt. Dapat disimpulkan semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh HEMSA.

#### 4.3.3. Performa Hidraulic Electro Mechanic Shock Absorber

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi periodic dan impuls maka berikut ialah grafik transimibility yang dihasilkan oleh HEMSA.

##### Effisiensi



Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi impuls dan periodik. Dapat kita bandingkan performa dari masing-masing alat tersebut dengan menghitung efisiensi HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* di setiap variasi pembebanan akumulator, dengan membandingkan *power output* terhadap *power input*. *Power output* ( $P_o$ ) merupakan energi bangkitan yang dihasilkan oleh HEMSA berupa energi listrik. *Power input* ( $P_i$ ) adalah energi yang timbul akibat dari gaya redaman dikalikan kecepatan relatif sistem suspensi.  $P_i = \int Fd \dot{z}$ , dimana  $Fd$  adalah gaya redaman, dan  $\dot{z}$  adalah kecepatan relatif antara *base exciter* dengan *sprung mass*. Data yang didapatkan dari hasil pengujian dihitung kemudian dituangkan kedalam grafik. Berikut berturut-turut data hasil pengujian yang dihasilkan oleh HEMSA :

Tabel 4. 18 Efisiensi HEMSA pada saat askumulator terisi 0 %

$\zeta = 0,64$ accu 0% charged					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	$\eta$
1.4	4537	0.056	7.11	0.19	2.7
1.7	4537	0.068	10.49	0.62	5.9
2	4537	0.08	14.5	1.31	9.0

Tabel 4. 19 Efisiensi HEMSA pada saat askumulator terisi 0 %

$\zeta = 0,67$ accu 55% charged					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	$\eta$
1.4	4719	0.056	7.40	0.19	2.6
1.7	4719	0.068	10.91	0.62	5.7
2	4719	0.08	15.1	1.31	8.7

Tabel 4. 20 Effisiensi HEMSA pada saat askumulator terisi 0 %

$\zeta = 0,72$ accu 100% charged					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	$\eta$
1.4	4834	0.056	7.58	0.19	2.5
1.7	4834	0.068	11.18	0.62	5.5
2	4834	0.08	15.5	1.31	8.5

Untuk mendapatkan power input berikut contoh perhitungan, untuk akumulator 0% pada frekuensi eksitasi 1,4 Hz:

Diketahui:  $c = 4537$  Ns/m

$f = 1,4$  Hz

dari persamaan  $P_i = \int F d \dot{z}$ , bila diintegralkan menjadi:

$$P_i = \int c \dot{z} d\dot{z} \quad \text{dimana } Fd = c \dot{z}$$

$$P_i = c \int \dot{z} d\dot{z}$$

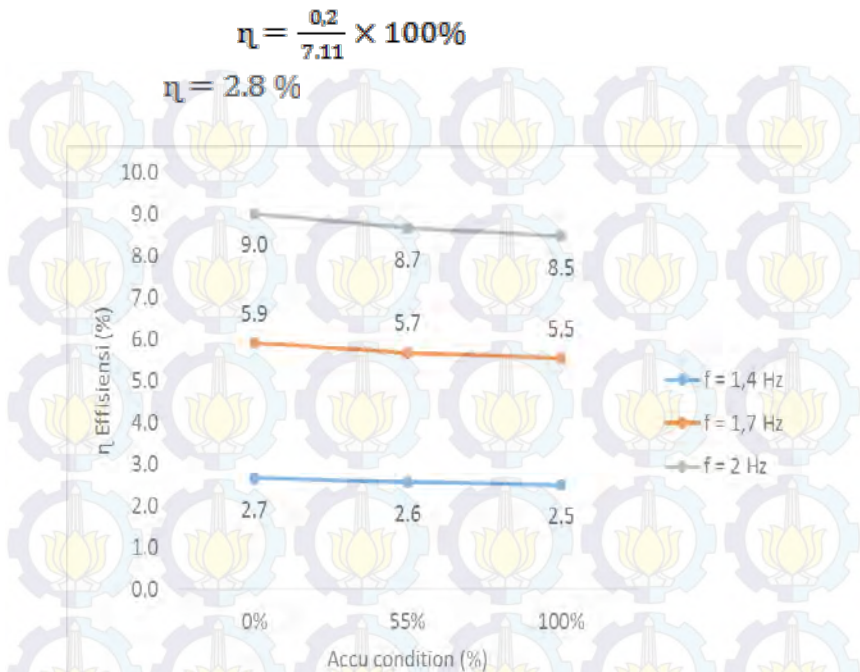
Maka, persamaan menjadi:

$$P_i = \frac{1}{2} c \dot{z}^2 \quad \text{dimana } \dot{z} = 2 A f$$

$$P_i = \frac{1}{2} 4537 (2 \times 0.02 \times 1,4)^2$$

$$P_i = 7.11$$

Sehingga,  $\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$



Gambar 4. 22 Grafik efisiensi perfoma HEMSA pembebanan akumulator

Dari gambar 4.22 dapat dilihat bahwa *trendline* efisiensi performa HEMSA dari setiap variasi pembebanan akumulator terjadi penurunan dengan bertambahnya kondisi pengisian akumulator di tiap-tiap frekuensi eksitasi yang diberikan. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa *trendline* sesuai dengan teori, dimana semakin terisi akumulator maka efisiensi daya semakin menurun. Artinya power input yang semakin besar akibat nilai konstanta redaman yang meningkat tidak diikuti power output yang dihasilkan. Hal ini yang mengakibatkan penurunan efisiensi daya HEMSA.

### Transmibility

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi impuls dan periodik. Dapat kita bandingkan performa dari masing-masing alat tersebut dengan menggunakan grafik *force transmissibility* terhadap *ratio frekuensi*, data yang kita dapatkan dari hasil pengujian dituangkan kedalam grafik. Berikut berturut-turut data hasil pengujian yang dihasilkan oleh HEMSA:

Tabel 4. 21 tabel frekuensi rasio teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 0 % .

akumulator 0% charged					
Frekuensi eksitasi	R	w	wn	X/Y teoritis	X/Y percobaan
1.4	0.66	8.80	13.32	1.27	1.01
1.7	0.80	10.69	13.32	1.29	0.76
2	0.94	12.57	13.32	1.26	1.00

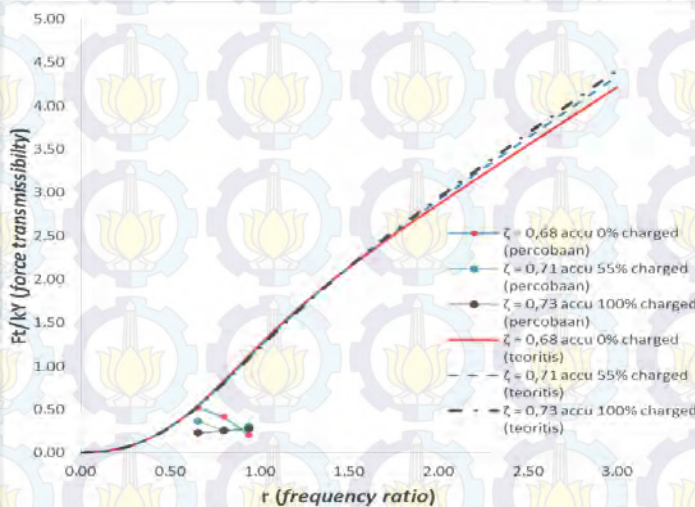
Tabel 4. 22 tabel frekuensi rasio teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 55 % .

akumulator 55% charged					
Frekuensi eksitasi	R	w	wn	X/Y teoritis	X/Y percobaan
1.4	0.66	8.80	13.32	1.25	0.63
1.7	0.80	10.69	13.32	1.27	0.39
2	0.94	12.57	13.32	1.24	1.00

Tabel 4. 23 tabel frekuensi rasio teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 100 %.



akumulator 100% charged						
Frekuensi eksitasi	R	w	wn	X/Y teoritis	X/Y percobaan	
1.4	0.66	8.80	13.32	1.25	0.53	
1.7	0.80	10.69	13.32	1.26	0.48	
2	0.94	12.57	13.32	1.23	1.00	

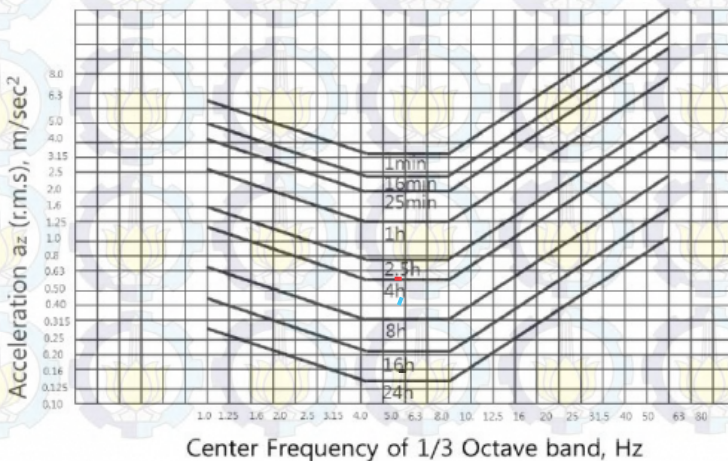


Gambar 4. 23. Grafik force transimibility (  $X/Y$  ) versus frequency rasio (  $r$  )

Dari hasil grafik pada gambar 4.23 di atas menunjukkan hubungan antara *force transmissibility* dengan *frequency ratio*. Proses perhitungan dilakukan dengan membandingkan RMS percepatan *sprung mass* dan *base exciter* yang terdapat pada tiap-tiap *damping ratio*, baik teoritis maupun percobaan. Dapat dilihat dari grafik di atas, *trendline* secara teoritis nilai *force transmissibility* meningkat seiring bertambahnya *frequency ratio* di setiap *damping ratio*. Sedangkan dari hasil eksperimen

(percobaan) mengalami kenaikan kemudian penurunan. *Trendline* pada  $\zeta = 0,68$  *accu 0% charged* mengalami penurunan saat  $r = 0,66$  dan  $r = 0,8$ . Lalu  $\zeta = 0,71$  *accu 55 % charged* mengalami penurunan saat  $r = 0,66$  dan  $r = 0,8$ . Namun pada  $\zeta = 0,73$  *accu 100% charged* mengalami kenaikan saat  $r = 0,66$  dan  $r = 0,8$ . pada saat  $r = 0,8$  kondisi ketiga damping ratio dan akumulator cenderung bertemu di satu titik.

Dari hasil *trendline* analisa grafik dapat disimpulkan bahwa, pada titik *frequency ratio* dengan *damping ratio* yang lebih besar menghasilkan nilai *force transmissibility* lebih besar. Kondisi pengisian akumulator mempengaruhi nilai *force transmissibility*, ini disebabkan nilai konstanta redaman yang meningkat maka nilai *damping ratio* pun meningkat. Dari ketiga *trendline* grafik hasil eksperimen (percobaan) jauh dari grafik teoritis. Hal ini disebabkan mekanisme HEMSA mempunyai nilai konstanta redaman berbeda-beda, yang terdiri dari beberapa komponen yaitu *hydraulic*, *mechanic*, dan generator serta pengaruh kondisi terisinya akumulator sebagai pembebanan. Juga, kemungkinan terjadi akibat keterbatasan alat ukur atau HEMSA tidak bekerja dengan maksimal.

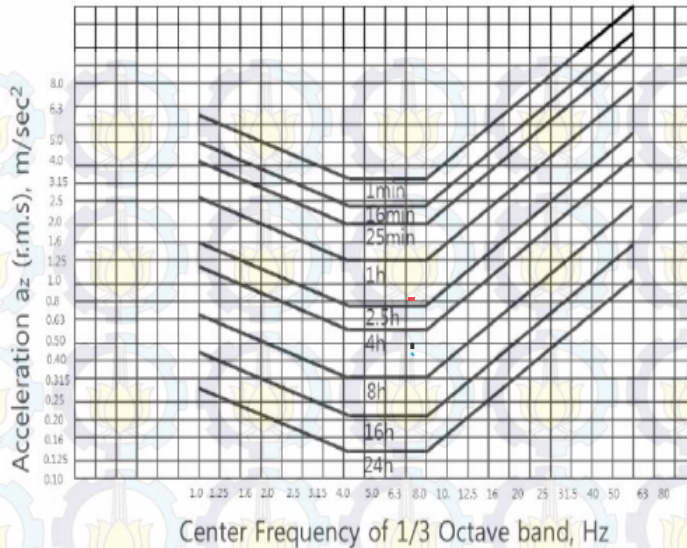


Gambar 4. 24. Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged

Pada gambar 4.23, dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631. Dimana nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $0,8 \text{ m/s}^2$  berada pada range waktu 6 jam. Nilai RMS untuk akumulator 55 % charged sebesar  $1,26 \text{ m/s}^2$  berada dalam range waktu 1 jam, nilai RMS untuk akumulator 0 % charged sebesar  $1,8 \text{ m/s}^2$  berada pada range waktu 1 jam 30 menit. Range waktu tersebut menyatakan penumpang hanya akan merasa nyaman pada RMS tersebut dan dalam waktu tersebut untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 1,4Hz.

### ISO 2631 Kenyamanan Penumpang

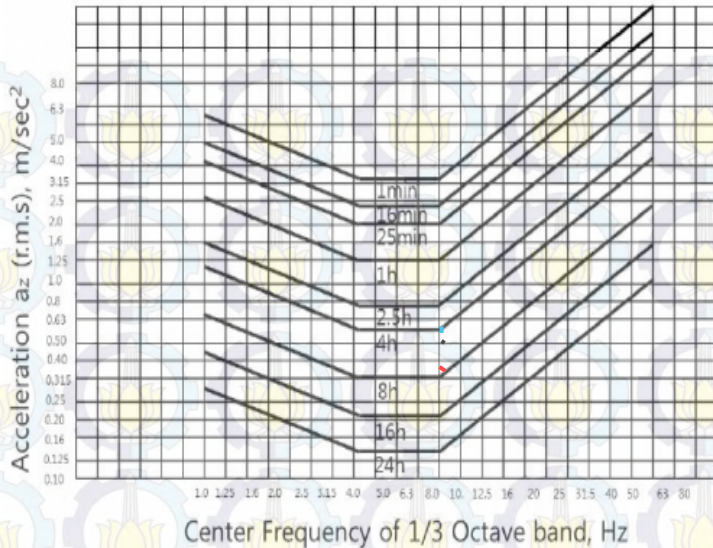




Gambar 4. 25 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged

Pada gambar 4.24, dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631. D imana nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $0.9 \text{ m/s}^2$  berada pada range waktu 4 jam. Nilai RMS untuk akumulator 55 % charged sebesar  $0.88 \text{ m/s}^2$  berada dalam range waktu 4 jam, nilai RMS untuk akumulator 0 % charged sebesar  $1.45 \text{ m/s}^2$  berada pada range waktu 2 jam 20 menit. Range waktu tersebut menyatakan penumpang hanya akan merasa nyaman pada RMS tersebut dan dalam waktu tersebut untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 1,7Hz.





Gambar 4. 26 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55% charged (hitam) accu 100% charged

Pada gambar 4.25, dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631. D imana nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $0.97 \text{ m/s}^2$  berada pada range waktu 4 jam. Nilai RMS untuk akumulator 55 % charged sebesar  $1.05 \text{ m/s}^2$  berada dalam range waktu 3 jam, nilai RMS untuk akumulator 0 % charged sebesar  $0.7 \text{ m/s}^2$  berada pada range waktu 5 jam. Range waktu tersebut menyatakan penumpang hanya akan merasa nyaman pada RMS tersebut dan dalam waktu tersebut untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 2 Hz.

## BAB V KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Nilai konstanta pegas dari hasil pengujian di laboratorium Sistem Dinamis dan Getaran Teknik Mesin ITS ialah 44357.5 N/m.
2. Nilai redaman total HEMSA tanpa akumulator ialah 4241.27 Ns/m. nilai redaman viscous tanpa akumulator ialah 1790.97 Ns/m dan nilai redaman viscous + friction tanpa akumulator ialah 2368.99 Ns/m. Nilai redaman total yang besar disebabkan oleh pengaruh koefisien gesek roda gigi dan Torsi elektrik dari generator.
3. Nilai redaman total HEMSA dengan akumulator 100 % charged ialah 4834.505 Ns/m. nilai redaman total HEMSA dengan akumulator 55 % charged ialah 4719 Ns/m. nilai redaman total HEMSA dengan akumulator 0 % charged ialah 4537 Ns/m. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin penuh kondisi akumulator akan semakin besar nilai redaman yang dihasilkan.
4. Nilai peak untuk impuls dengan akumulator 100 % charged frekuensi eksitasi 1.4 Hz sebesar  $1.503 \text{ m/s}^2$ , akumulator 0 % charged sebesar  $0.243 \text{ m/s}^2$ . Akumulator 100 % charged, 55 % charged dan 0 % charged stabil pada detik ke 0.25. semakin terisinya akumulator maka nilai redaman akan semakin besar sehingga mempengaruhi nilai peak yang dihasilkan. Semakin besar nilai redaman maka semakin kecil peak yang dihasilkan.
5. Nilai ( X/Y ) teoritis dan percobaan berbeda jauh. Dimana pada nilai  $r = 0.8$ , nilai ( X/Y ) teoritis mengalami kenaikan namun pada nilai ( X/Y ) percobaan mengalami penurunan. Untuk nilai ( X/Y ) dengan nilai  $r = 0.94$  pada akumulator 100 %, 55 % dan 0 % charged memiliki nilai yang sama yaitu 1.
6. Didasarkan pada ISO 2631 pada frekuensi 1.4 Hz akumulator 100 % charged dengan RMS  $0.8 \text{ m/s}^2$  ialah paling nyaman karena memiliki range selama 4 jam. Pada frekuensi 1.7 Hz akumulator 55 % dan 100 % dengan nilai RMS  $0.9 \text{ m/s}^2$  dan

$0.88 \text{ m/s}^2$  ialah paling nyaman karena memiliki range waktu yang sama sebesar 4 jam. Pada frekuensi 2 Hz seluruh kondisi akumulator nyaman karena semuanya memiliki range waktu 4 jam.

## 5.2. Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Proses desain dan manufaktur alat harus disesuaikan dengan kebutuhan SPESIFIKASI ALAT UJI agar hasil yang diharapkan dalam penelitian dapat dilakukan pengujian sesuai perencanaan uji.
2. Pengujian mekanisme suspensi tidak dapat dijalankan maksimal karena beberapa komponen perlu adanya perbaikan pada alat uji suspension tes rig agar tidak terjadi gangguan pada saat pengujian, misalnya katup-katup yang perlu diperbaiki agar tidak terjadi kebocoran sehingga penentuan frekuensi eksitasi pengujian dapat diperbesar sampai  $> 2 \text{ Hz}$  untuk mencapai variasi  $r$  diatas 1,4 serta mekanisme holder beban massa agar diperkokoh supaya saat pengujian respon massa lebih kuat untuk menopang beban yang berat ( $> 200 \text{ kg}$ ).
3. Perlu adanya sensor tambahan pada alat sensor suspension tes rig untuk mengetahui Amplitudo pada massa sprung dan unsprung.
4. Pada perancangan RSA ini, gear yang dipakai adalah rack pinion gear dan bevel gear, pada pembuatan HEMSA sendiri tidak menggunakan dimensi gear yang telah didesain supaya alat berfungsi sesuai perancangan maka, digunakan komponen yang sesuai dengan hasil desain.



### Daftar Pustaka

- [1] Zhigang Fang, dkk. 2013. *Experimental Study of Damping and Energy Regeneration Characteristics of a Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber*. Wuhan University of Technology. China
- [2] W. Fox, Robert. *Introduction to Fluid Mechanics 7th edition*. John Wiley & Sons. USA.
- [3] Bart L.J. Gysen dkk. 2010. *Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dynamics*, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- [4] ESDM (2012) Indonesia Energy Statistic  
[http://psdg.bgl.esdm.go.id/kepmen\\_pp\\_uu/blueprint\\_PEN.pdf](http://psdg.bgl.esdm.go.id/kepmen_pp_uu/blueprint_PEN.pdf)
- [5] Laksana Guntur, Harus. 2013. *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. JSME Journal of System Design and Dynamics.
- [6] Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT., *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia.
- [7] Sareza Hafis, ST. 2013. *Studi Eksperimental Perbandingan Karakteristik Antara Konvensional Shock Absorber Dengan Regenerative Shock Absorber (RSA)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- [8] S. Rao, Singiresu. 2004 *Mechanical Vibration*. Prentice Hall PTR. Singapore.
- [9] Zuo, Lei dkk. 2010. *Design And Characterization Of An Electromagnetic Energy Harvester For Vehicle Suspension*. New York State University, USA.



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rendra Pramana Wahyu Putranto. Lahir pada tanggal 21 Juni 1989, Sidoarjo. Bertempat tinggal di Pabean Asri blok u no 10, Sedati, Sidoarjo, Jawa Timur. Anak pertama dari pasangan Sugiharto dan Indah Wahyu Prasetyaningati. Sebelum menempuh S1 Lintas Jalur di Institut Teknologi 10 November, telah lulus Diploma 3 di Institut Teknologi 10 November pada tahun 2011, telah lulus SMA Negeri 17 Surabaya pada tahun 2007, lulus SMP Negeri 1 Waru pada tahun 2004 dan masuk S1 Lintas Jalur Institut Teknologi 10 November pada tahun 2011. Telah menempuh S1 lintas Jalur selama 5 semester dan lulus pada tahun 2014. Menjadi bagian dari bidang studi desain pada Teknik Mesin Institut Teknologi 10 November. Selama D3 turut aktif dalam kegiatan mahasiswa yang diadakan oleh himpunan D3 Teknik mesin ITS. Memiliki hobi olahraga, khususnya basket namun juga sering berolahraga lainnya seperti renang, pingpong dan bola volley. Memiliki motto hidup yang selalu dipegang teguh yaitu “ikhlas dan bekerja semaksimal mungkin.”

